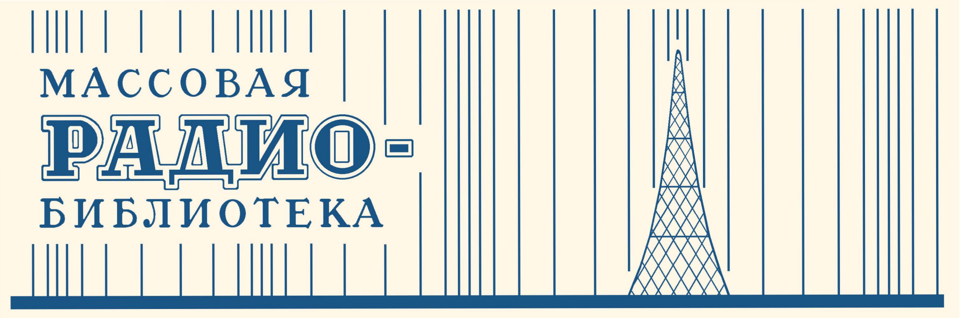
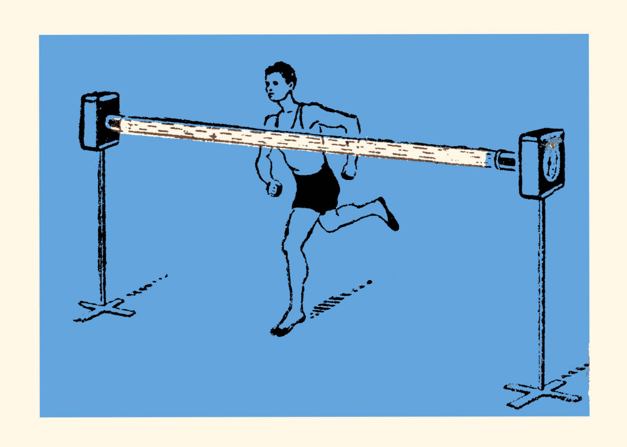


С. Д. КЛЕМЕНТЬЕВ

ФОТОРЕЛЕ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ





ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

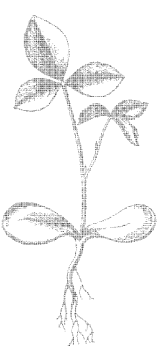
ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА А. И. БЕРГА

Выпуск 67

Инж. С. Д. КЛЕМЕНТЬЕВ

ФОТОРЕЛЕ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ

(КАК САМОМУ ИЗГОТОВИТЬ И ОТРЕГУЛИРОВАТЬ ФОТОРЕЛЕ С ПИТАНИЕМ ОТ СЕТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА И КАКИЕ ОПЫТЫ МОЖНО С НИМ ПРОИЗВЕСТИ)







ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1950 ЛЕНИНГРАД

Книга предназначена для радиолюбителей, интересующихся фотоэлектронной автоматикой.

В ней дается описание самодельного фотореле, отличающегося минимальными габаритными размерами, дешевизной, простотой конструкции и надежностью в работе.

Рассказывается о некоторых применениях фотореле в быту, на производстве и во внешкольной работе.

СОДЕРЖАНИЕ

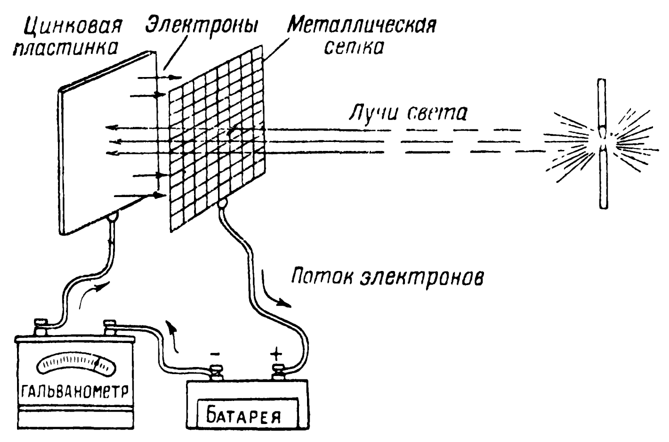
ГЛАВА ПЕРВАЯ

ФОТОРЕЛЕ

1. ФОТОЭФФЕКТ И ФОТОЭЛЕМЕНТЫ

В основу действия фотореле положено открытие великого русского ученого, профессора Московского университета, Александра Григорьевича Столетова.

Еще в 1888 г. А. Г. Столетов обнаружил, что под действием света электрической дуговой лампы из хорошо очищенной



Фиг. 1. Схема первого фотоэлемента профессора А.Г. Столетова.

пластинки цинка вылетают отрицательно заряженные частички. Явление вылета таких заряженных частиц из металлов было названо фотоэффектом (от греческого слова фотос — свет), а приборы, основанные на этом принципе, — фотоэлементами.

Фотоэлемент впервые был сконструирован проф. А. Г. Столетовым. Он состоял из цинковой пластинки (фиг. 1) и тонкой металлической сетки, через которую на пластинку падали лучи света электрической дуги. Пластинка соединялась с от-

рицательным полюсом электрической батареи, а сетка — с положительным. Свет дуги выбивал из цинка отрицательно заряженные частицы, которые притягивались положительной сеткой. В результате по цепи: минус батареи — гальванометр — пластинка — воздушный промежуток — сетка — положительный полюс батареи двигался поток отрицательных зарядов (противоположно условному направлению тока).

Сущность фотоэффекта, постепенно раскрытая соединенными усилиями многих деятелей науки, заключается в следующем.

Известно, что все тела состоят из невидимых мельчайших частиц — молекул, а молекулы, в свою очередь, из еще более мелких частиц — атомов. Современная физика рассматривает атом как сложную частицу, состоящую из ядра, в котором сосредоточена почти вся масса атома и электронной оболочки, окружающей ядро. Ядро атома заряжено положительно, а оболочка состоит из отрицательно заряженных частиц — электронов. Суммарный электрический заряд ядра равен сумме зарядов электронов оболочки, так что в обычных условиях атом электрически нейтрален. В таких веществах, как металлы, внешние электроны оболочки могут перемещаться между атомами, чем и объясняется хорошая электропроводность металлов. Однако совсем покинуть металл эти электроны не могут, так как их удерживает положительный заряд ядер.

Только при определенных внешних воздействиях (сильное нагревание, освещение, сильное электрическое поле) некоторая часть электронов приобретает возможность покинуть металл. Эти электроны, покидающие металл под действием освещения его поверхности, и обнаружил в своих опытах А. Г. Столетов в виде отрицательно заряженных частиц, вылетающих из цинковой пластинки.

Выход электронов из металлов под воздействием внешних факторов получил название электронной эмиссии. Чтобы подчеркнуть, какой именно фактор вызывает выход электронов, перед словом «электронная» ставят соответствующее определение, например выход электронов при нагревании металлов называют «термоэлектронной эмиссией», выход электронов под действием света — «фотоэлектронной эмиссией» или «внешним фотоэффектом».

Чтобы использовать явление электронной эмиссии для практических целей, вблизи поверхности, испускающей электроны, обычно помещают положительно заряженный электрод — анод. На анод непрерывным потоком будут двигаться электроны, и во внешней цепи, соединяющей анод с положи-

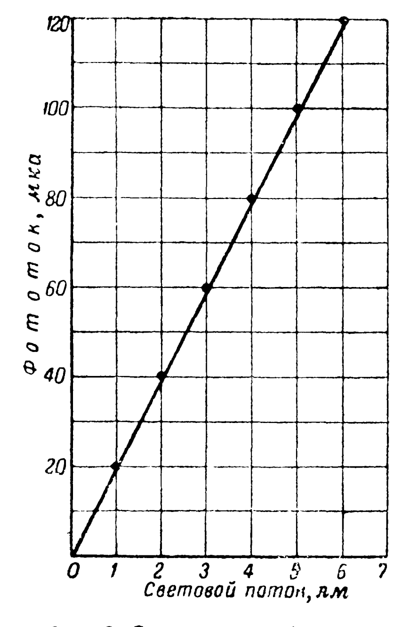
тельным полюсом батареи и отрицательный полюс батареи с электродом, испускающим электроны, будет протекать электрический ток. Необходимо только помнить, что условное направление тока (от плюса к минусу) противоположно движению электронов (от минуса к плюсу).

Столетов не ограничился наблюдениями над испусканием металлической пластинкой отрицательных зарядов под действием света. Он продолжал глубоко изучать процессы фотоэффекта и, исследуя это чудесное явление, установил его основные законы.

Изучая фотоэффект во всех его подробностях, А. Г. Столетов поместил диск и сетку в стеклянную колбочку, из которой он выкачал воздух. Получился вакуумный (пустотный) фотоэлемент.

В первых приборах А. Г. Столетова электроны сильно рассеивались из-за соударений с молекулами воздуха, тогда как в вакуумном фотоэлементе они более свободно проходят от диска к положительно заряженной сетке. На своем пути электроны встречают гораздо меньше препятствий, так как воздух в колбочке сильно разрежен.

Меняя разреженность воздуха в колбочке, А. Г. Столетов установил зависимость фотоэлектрического тока от степени вакуума.



Фиг. 2. Зависимость фототока от светового потока.

Другим очень важным результатом исследований А. Г. Столетова было открытие им закона пропорциональности между фототоком и интенсивностью падающего на пластину (диск) света. Этот первый закон фотоэффекта вошел в науку под названием закона Столетова.

Пропорциональность между силой фототока и световым потоком является одним из самых замечательных свойств вакуумных фотоэлементов.

Если, например, световой поток, падающий на пластинку фотоэлемента, увеличится в 10 раз, то ровно во столько же раз увеличится и фототок. Если же свет усилить в 20 раз, то точно в 20 раз увеличится фототок.

Это замечательное свойство вакуумных фотоэлементов сохраняется для самых различных величин светового потока. Если изобразить графически зависимость между фототоком и световым потоком, падающим на пластинку фотоэлемента, то получится совершенно прямая линия (фиг. 2).

Большинство наиболее важных применений вакуумных фотоэлементов основано именно на этом их замечательном свойстве. Если при очень больших световых потоках этот закон и нарушается, то это вызывается чисто побочными причинами — нагреванием пластинки и т. п.

Исследования А. Г. Столетова были тщательны и глубоки. Работы, совершенные после него, мало что прибавили к сделанному им. Они внесли дополнительные подробности, но не отменили ничего в сделанном А. Г. Столетовым. Глубина трудов А. Г. Столетова тем более удивительна, что физике в те времена еще не были известны электроны, потоком которых и является фотоэлектрический ток. Эти «атомы электричества» были открыты только после смерти А. Г. Столетова.

Прибор А. Г. Столетова был, по сути дела, первым фотоэлементом, родоначальником этих чудесных «электрических глаз», без которых не мыслимы звуковое кино, телевидение и автоматика.

Великое открытие А. Г. Столетова поступило в обиход человечества, и тотчас началась его техническая разработка и усовершенствование.

Принцип работы его прибора и по сей день применяется для измерения и изучения фототока.

А. Г. Столетов начал с цинка. В дальнейшем для своих опытов он брал диски и из других металлов: алюминиевые, медные, серебряные, никелевые.

Его последователи взялись за проверку других металлов и открыли, что калий, натрий, литий, рубидий и цезий отличаются гораздо большей чувствительностью к свету, чем цинк.

Кроме того, оказалось, что эти металлы, в отличие от цинка, меди или серебра, теряют электроны не только под действием света электрической дуги, но и от других источников света.

Было выяснено, что скорость вылетающих из металла электронов зависит не от интенсивности света, а только от длины его волны, т. е. от цвета, и, наконец, что для каждого металла имеется свой вполне определенный порог фотоэффекта, т. е.

такая наибольшая длина волны (наиболее «красный» луч), с которой начинается вырывание электронов.

Луч с еще большей длиной волны, как бы он ни был интенсивен, ни одного электрона из поверхности металла не вырвет.

Для объяснения фотоэффекта пришлось предположить, что в этом случае световые лучи ведут себя не как волны, а как поток летящих с огромной скоростью мельчайших частичек. Можно представить себе, что свет из накаленного тела излучается не непрерывно, а какими-то отдельными «порциями», каждая из которых несет в себе вполне определенный запас энергии. Эти порции света назвали квантами.

Поглощение света различными телами происходит также не непрерывно, а отдельными порциями. При этом каждый атом вещества может поглотить только целое число квантов световой энергии, т. е. один, два и т. д., но никак не половину, не полтора и не два с половиной кванта. Квант уже сам по себе не может дробиться на части.

Величина энергии каждого кванта не одинакова и определяется только частотой света. Больше ни от чего энергия кванта не зависит. Чем больше частота света или, что то же самое, чем меньше его длина волны, тем больше энергия кванта.

Энергия квантов видимых лучей больше, чем энергия инфракрасных, а рентгеновых лучей в тысячи раз больше, чем видимых.

Если энергия кванта будет меньше, чем та работа, которая требуется для вырывания электрона (работа выхода), то фотоэлектрический эффект будет вообще невозможен, и как бы ни был велик световой поток, из металла не вылетит ни одного электрона. При этом интересно то обстоятельство, что для разных веществ минимальная энергия кванта, при которой еще происходит выбивание электронов из атомов, различна и определяется внутренним строением и состоянием поверхности металла. Например, цезий отдает электроны легче, чем рубидий

Для вырывания электронов из алюминия требуется уже значительная энергия, которую имеют только кванты ультрафиолетового света, т. е. алюминий теряет электроны еще труднее, чем рубидий, а железо испускает свои электроны только под воздействием еще более коротких ультрафиолетовых волн.

Длина волны, при которой начинается выбивание электронов из атомов, носит название порога фотоэффекта.

Железо, медь, свинец и другие распространенные металлы не могут быть использованы для фотоэлементов, чувстви-

тельных к видимой части спектра. Их порог лежит в ультрафиолетовой области, и поэтому видимые лучи, имеющие большую длину волны, не вырвут из них ни одного электрона. В то же время щелочные металлы (натрий, калий) обладают порогом в видимой, а цезий — даже в инфракрасной части спектра. Поэтому для изготовления фотоэлементов употребляют чаще всего щелочные металлы. Ведь чем дальше отодвинут в сторону более длинных волн порог фотоэффекта, тем меньше работа выхода. Следовательно, для щелочных металлов работа выхода наименьшая. Это связано с той легкостью, с которой металлы этой группы теряют электроны (большая химическая активность).

Чувствительность фотоэлементов

Фотоэлементы отличают друг от друга по их чувствительности к свету. Чем больший ток дает фотоэлемент при том же количестве падающего на него света, тем он считается чувствительнее.

Чувствительность фотоэлементов измеряют в микроамперах (миллионных долях ампера) на единицу светового потока — на один люмен. При этом различают два вида чувствительности: общую (интегральную) и так называемую спектральную (цветовую). Общая чувствительность фотоэлементов определяется по отношению к свету, излучаемому обыкновенными электрическими лампочками накаливания с вольфрамовой нитью. Эти лампочки дают почти белый свет, который состоит из всех лучей спектра: красных, оранжевых, желтых, зеленых, синих и фиолетовых, а также инфракрасных, не видимых человеческим глазом.

Измеряя фототок, даваемый фотоэлементом под действием лучей света от такой лампочки, и определяют общую (интегральную) чувствительность фотоэлементов, относящуюся к сложному, содержащему все цвета спектра, свету.

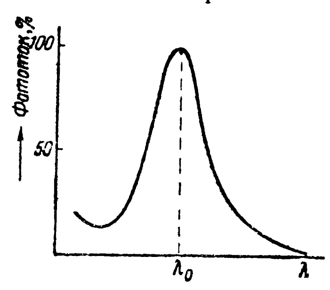
Чрезвычайно интересной и важной является также цветовая (спектральная) чувствительность фотоэлементов, т. е. их чувствительность к световым потокам различных цветов.

Спектральную чувствительность фотоэлементов выражают в процентах к максимальной величине (фиг. 3). По вертикальной оси откладывается фототок, а по горизонтальной — длина волны.

Энергия для всех длин волны (всех цветов) берется при этом одинаковой. По кривой видно, что, начиная с «порога», фототок по мере уменьшения длины волны возрастает. При

некоторой длине волны кривая спектральной чувствительности фотоэлемента имеет резко выраженный максимум, напоминая известную всем радистам кривую резонанса. Максимум кривой называется «селективным» или избирательным и указывает на особую чувствительность фотоэлемента к лучам определенного цвета. Для разных металлов этот максимум различен. Для одного и того же металла он также может быть различным и зависит от способа обработки его поверхности.

С дальнейшим уменьшением длины волны чувствительность фотоэлементов опять падает и, пройдя через некоторое минимальное значение, вновь возрастает в ультрафиолетовой части спектра.



Фиг. 3. Спектральная характеристика фотоэлемента.

Совершенно чистые металлы обладают очень малой интегральной чувствительностью — всего в десятые, иногда даже сотые доли микроампера на люмен.

В процессе изготовления фотоэлементов было обнаружено, что «загрязнение» чистой поверхности металлов увеличивает чувствительность фотоэлементов. Способы обработки поверхности светочувствительного слоя, вызывающие возрастание излучения электронов, сводятся к тому, что порог фотоэффекта отодвигается в сторону более длинных волн. Максимум спектральной характеристики при этом также сдвигается в сторону больших длин волн, что вызывает увеличение интегральной чувствительности фотоэлементов.

Если фотоэлемент предназначен для работы на дневном свете, то его светочувствительный слой стараются обрабатывать так, чтобы максимум чувствительности был при желтых лучах (0,555 микрона) и совпадал с максимумом чувствительности человеческого глаза. Для более полного использования света, создаваемого обычными лампами накаливания, где максимум энергии приходится в области инфракрасных волн, выгоднее обрабатывать светочувствительный слой таким образом, чтобы иметь селективный максимум в той же области.

Существует несколько способов повышения чувствительности фотоэлементов.

Первый способ заключается в том, что поверхность светочувствительного металла, нанесенного на катод, обрабатывают

каким-либо диэлектриком или газом. Калий, например, обрабатывают электрическим разрядом в водороде; поверхность его при этом приобретает светлоголубой оттенок. Иногда калий обрабатывается парами серы. Иногда металлы щелочной группы обрабатываются очень небольшим количеством кислорода.

Другой метод повышения чувствительности фотоэлементов заключается в том, что металл наносят на катод тончайшим слоем толщиной в одну молекулу. Такое очень тонкое покрытие обладает интересной особенностью — легче отдавать электроны, чем толстый слой металла. Поэтому тонкопленочные фотоэлементы обладают большой интегральной чувствительностью. Большую роль в повышении чувствительности фотоэлементов играет также «подложка», т. е. материал, на который наносится светочувствительный слой.

Чаще всего в качестве подложки, особенно для тонкопленочных фотоэлементов, берется серебро или его окись. Тонкопленочные цезиевые фотоэлементы чувствительнее калиевых и натриевых в десятки раз.

Вакуумные фотоэлементы отличаются большим постоянством чувствительности. Как мы уже знаем, фотоэлемент включается так, что его металлическая сетка (анод) присоединяется к плюсу, а светочувствительный слой (катод — к минусу батареи. Когда положительное напряжение на аноде равно нулю, то анод не притягивает вылетающих из катода фотоэлектронов.

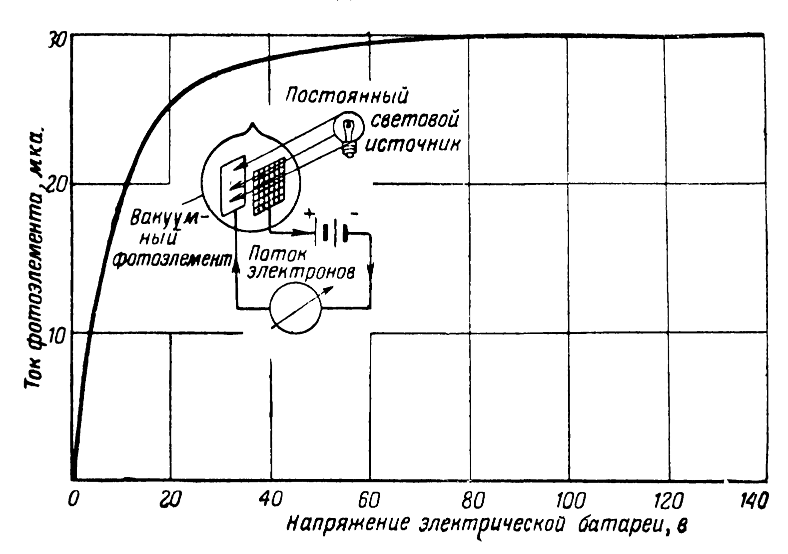
Лишь немногие из них (самые быстрые) попадают в анод и создают в цепи фототок. По мере возрастания напряжения на аноде сила притяжения электронов увеличивается и все большее и большее число их попадает на анод. Если графически изобразить зависимость между количеством притянутых к аноду фотоэлемента электронов (фототок) и величиной напряжения электрической батареи, то получится кривая, изображенная на фиг. 4.

Вначале, при небольших напряжениях на аноде, фототок возрастает весьма быстро. Кривая фототока идет круто вверх. Затем, начиная с напряжения в несколько десятков вольт (это напряжение зависит от размеров электродов и расстояния между ними), возрастание фототока быстро уменьшается. Кривая делается пологой.

При дальнейшем увеличении напряжения фототок почти совсем не возрастает. Это будет область «насыщения», когда все электроны, вырванные световым потоком, попадают на анод.

При работе с фотоэлементом напряжение на его аноде всегда выбирают таким, чтобы работать в области насыщения. Это удобнее, так как при насыщении ток фотоэлемента не будет зависеть от случайных небольших изменений напряжения электрической батареи, и величина фототока будет определяться только падающим на катод световым потоком.

Мы уже говорили, что одним из самых замечательных свойств вакуумных фотоэлементов, открытых еще А. Г. Столетовым, является пропорциональность между силой фототока и световым потоком. Это дает возможность использовать ва-



Фиг. 4. Вольтамперная характеристика фотоэлемента.

куумные фотоэлементы для измерений световых потоков и для других научных исследований.

Другим не менее важным свойством вакуумных фотоэлементов является их безинерционность. Промежуток времени между моментом падения света на чувствительную поверхность и моментом вылета электрона очень мал. Это время меньше одной миллиардной доли секунды, т. е. практически вырывание электрона происходит мгновенно.

Вырванный электрон стремительно летит к положительно заряженной сетке или, как это сделано в современных вакуумных фотоэлементах, к небольшому кольцу, находящемуся в центре. Этот полет, конечно, требует некоторого промежутка

времени, который может вызвать запаздывание фототока по отношению к моменту падения на катод светового луча.

Но и время полета электронов также ничтожно мало; им практически можно пренебречь и считать, что вакуумные фотоэлементы работают без инерции, т. е. почти моментально.

Под действием электрического поля электроны приобретают колоссальные скорости. Уже при нескольких вольтах скорость электронов достигает нескольких сотен километров в секунду, а при больших напряжениях (порядка 100 *кв*) она приближается к скорости света (300 000 *км/сек*). При таких скорстях время, которое необходимо электрону, чтобы перелететь с катода на анод, ничтожно мало. Если, например, на аноде напряжение 110 *в* (вольт), а путь от катода до анода 10 *мм* (миллиметров), то время полета электрона будет меньше двух миллиардных долей секунды.

Если фотоэлемент внезапно осветить, то ток в его цепи появится в течение двух миллиардных секунды, т. е. почти мгновенно. Благодаря тому, что вакуумные фотоэлементы практически безинерционны, они точно отзываются на изменения силы света, даже и в том случае, если частота этих изменений составляет миллионы периодов в секунду.

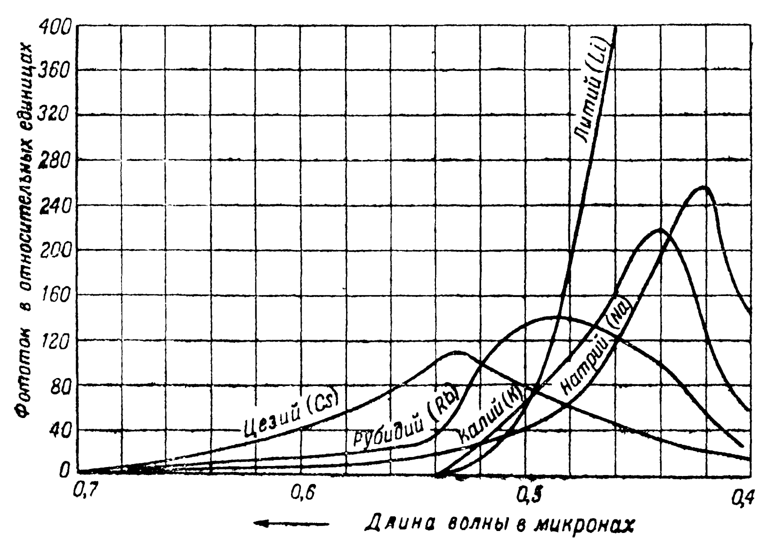
Однако при очень больших частотах начинает сказываться электрическая емкость между анодом и катодом фотоэлемента. Фотоэлементы, как мы увидим дальше, всегда включают последовательно с каким-либо электрическим прибором. При очень быстрых колебаниях света фототок будет идти на зарядку емкости анод — катод и все меньшая и меньшая часть электронов будет ответвляться во включенный прибор. Чтобы влияние емкости при больших частотах света было мало заметно, фотоэлемент в таких случаях включают последовательно с не очень большим сопротивлением.

Итак, достоинства вакуумных фотоэлементов заключаются в: 1) пропорциональности между силой фототока и световым потоком; 2) безинерционности; 3) большом постоянстве чувствительности.

Цветные лучи

Мы уже говорили о том, что общая (интегральная) чувствительность вакуумных фотоэлементов зависит от свойств примененного светочувствительного металла и от способа обработки его поверхности. Не менее важной для вакуумных фотоэлементов является их цветовая (спектральная) характеристика. Для химически чистых металлов эти характеристики показаны на фиг. 5. На горизонтальной оси графика отложе-

ны длины волн света, соответствующие различным цветным лучам, а на вертикальной — величина фототока. Колоссальный селективный максимум получается у лития, но, к сожалению, он лежит в ультрафиолетовой части спектра. Хотя величина селективного максимума чувствительности у цезия относительно и меньше, чем у лития, натрия, калия и рубидия, но зато почти вся кривая чувствительности по спектру лежит в области видимых лучей. Значит, общая (интегральная) чувствительность цезиевого фотоэлемента к белому свету элек-

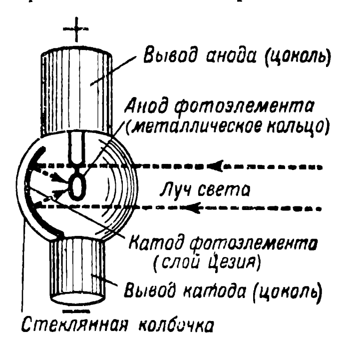


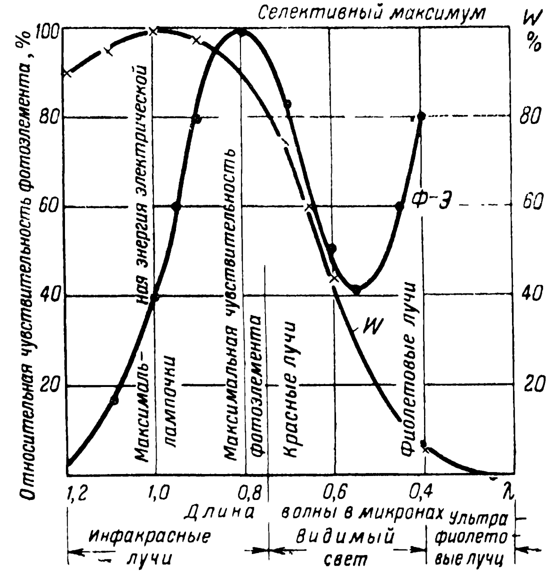
Фиг. 5. Спектральные характеристики фотоэлементов со светочувствительным слоем из различных металлов.

трической лампочки накаливания с вольфрамовой нитью будет наибольшая по сравнению с другими фотоэлементами. Но если источник света относительно богат синими и фиолетовыми лучами (например, рассеянный дневной свет), то к такому свету будут весьма чувствительны калиевый и натриевый фотоэлементы, а цезиевый в меньшей степени. Поэтому тип фотоэлемента необходимо подбирать применительно к цветовому составу источника света.

В тех случаях, когда используется ультрафиолетовый свет, наиболее подходящим окажется литиевый фотоэлемент, почти нечувствительный к видимым лучам (все это прекрасно видно на графике фиг. 5).

Спектральные характеристики фотоэлементов со сложными, особым образом обработанными, катодами могут сильно отличаться от кривых, приведенных на фиг. 5. В результате обра-





Фиг. 6. Схема советского газонаполненного фотоэлемента ЦГ-3 и его спектральная характеристика.

Кривая W показывает спектральное распределение энергии вольфрамовой нити при температуре $T = 2\,850°$абс.

ботки светочувствительных металлов порог фотоэффекта и селективный максимум сдвигаются в сторону более длинных волн, т. е. их характеристики приближаются к характеристикам цезиевого фотоэлемента. Иногда в результате обработки

светочувствительного слоя появляются два селективных максимума в разных участках спектра.

Спектральная характеристика советского цезиевого фотоэлемента ЦГ-3 имеет вид, показанный на фиг. 6. Высокий селективный максимум этого фотоэлемента в ультрафиолетовой части спектра можно использовать только в том случае, если колбочка сделана из кварцевого стекла. Этот максимум пропадает, если фотоэлементы заключены в стеклянные колбочки, непрозрачные для ультрафиолетовых лучей.

Характеристика советского цезиевого фотоэлемента замечательна еще и тем, что второй селективный максимум расположен в области невидимых инфракрасных лучей. Практическое значение этого очень велико. Во-первых, для обычных источников света — электрических лампочек накаливания — общая чувствительность цезиевых фотоэлементов, как мы знаем, больше, чем других типов фотоэлементов; во-вторых, в тех важных случаях, когда приходится прибегать к использованию невидимых лучей, цезиевые фотоэлементы обладают огромными преимуществами.

Инфракрасные лучи получить легко. Любая электрическая лампа накаливания излучает их в гораздо большем количестве, чем видимые и особенно ультрафиолетовые лучи.

Стекло, из которого изготовляются все оптические части приборов и колбочки фотоэлементов, пропускает инфракрасные лучи и, наоборот, плохо пропускает ультрафиолетовые. Ультрафиолетовые лучи в фотоэлектронной автоматике используются мало. Во-первых, они создают сильные физиологические воздействия и поэтому часто бывают вредны для организма, в то время как инфракрасные — абсолютно безвредны. Во-вторых, ультрафиолетовые лучи в сильной степени поглощаются воздухом, а особенно пылью и туманом. Наоборот, пыль и туман являются меньшим препятствием для инфракрасных лучей.

Газонаполненные фотоэлементы

Несмотря на сложную обработку, которой подвергается светочувствительный слой вакуумных фотоэлементов, ток их мал, и без усиления использовать его почти невозможно. Единственно для каких целей можно применить ничтожный ток вакуумных фотоэлементов, так это лишь при производстве измерений.

Однако, помимо обработки катодов, есть и другие способы увеличения чувствительности фотоэлементов.

Один из таких способов основан на явлении, носящем название ионизации газа. После того, как фотоэлемент изготовят и откачают из него остатки воздуха и газов, в колбочку вводят под очень небольшим давлением инертный, т. е. химически не активный или, как его иначе называют, «благородный» газ (аргон, неон).

Вместо химически неактивных газов можно было бы взять любой другой газ. Но другие газы могут оказать нежелательное влияние на фотокатод, вступив с ним в химическое соединение. Поэтому пользуются благородными газами.

Давление газа весьма небольшое, и оно во всяком случае не превышает нескольких сотых долей миллиметра ртутного столба.

Процессы в газонаполненном фотоэлементе происходят совершенно по-иному, чем в вакуумном. Вырванные светом электроны, летя от катода к притягивающему их аноду, приобретают большую скорость.

Разогнавшиеся электроны ударяются о молекулы газа, наполняющего колбочку фотоэлемента, и ионизируют их, т. е. выбивают из них другие электроны. Эти вторичные электроны также летят к аноду и в свою очередь ионизируют новые молекулы, встретившиеся им на пути.

Каждый первичный, выбитый из катода, электрон может, таким образом, создать несколько вторичных электронов, попадающих на анод.

Ионы газа, оставшиеся после того, как из молекул были выбиты электроны, в тысячи раз тяжелее электронов. Так как ионы заряжены положительно, то они летят не к аноду, а в обратную сторону, притягиваясь к отрицательно заряженной пластинке — катоду. Но ввиду того, что их масса больше, чем масса электронов, то скорость их полета к катоду значительно меньше, чем скорость электронов.

Положительно заряженные тяжелые частицы — ионы под действием электрического поля приходят к катоду. Последний подвергается при этом большому числу ударов положительными ионами, как бы непрерывной ионной «бомбардировке». При этом из поверхности катода выбиваются новые электроны. Эти электроны не являются фотоэлектронами, так как их вылет из катода вызван не падающим светом, а ионной бомбардировкой. Тем не менее, летя к аноду, они, подобно фотоэлектронам, вызывают добавочную ионизацию молекул газа, расщепляя их на ионы и новые электроны.

Какова же судьба иона?

Ион, ударившись о катод, получает от последнего недо-

стающий отрицательный заряд — электрон — и вновь превращается в нейтральную молекулу газа.

Таким образом, каждый фотоэлектрон вызывает вторичные процессы, связанные с ионизацией газа. В результате этих вторичных процессов число электронов, прилетающих к аноду, увеличивается в несколько раз.

Это означает, что фототок во столько же раз усиливается. Может показаться, что процесс усиления беспредельно нарастает. Но это не так.

При определенном постоянном значении светового потока и напряжении электрической батареи, питающей анодную цепь, довольно быстро наступает момент, когда число возникающих в секунду ионов становится равным числу исчезающих в то же время ионов. Дальнейшего увеличения фототока после этого момента происходить уже не может.

Ток, протекающий в газонаполненном фотоэлементе, состоит из двух составляющих: одна из них обусловлена выбиванием электронов из светочувствительного слоя, а другая, во много раз бо́льшая, является током электрического разряда в газе. Однако этот разряд не самостоятельный: он возникает только под влиянием освещения катода.

При исчезновении света ток газонаполненного фотоэлемента почти сразу прекращается. Величина этого тока тем больше, чем интенсивнее свет, падающий на катод фотоэлемента.

Однако точной пропорциональности между током и светом в газонаполненных фотоэлементах нет, и чем большее усиление дает газ, тем больше отступление от пропорциональности.

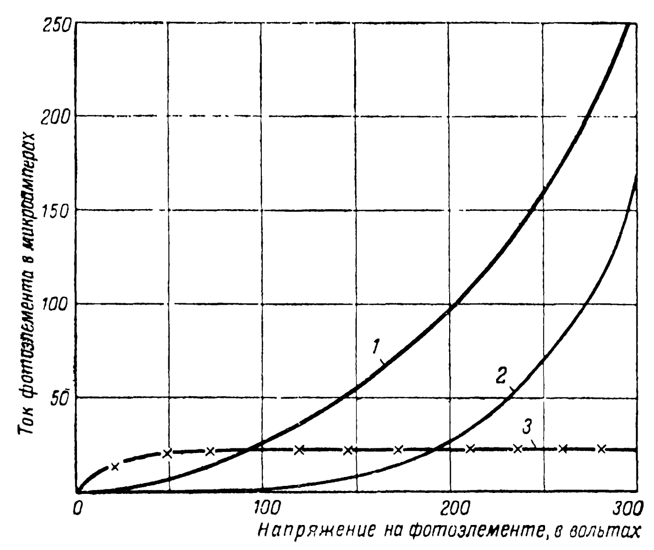
Ток в газонаполненном фотоэлементе очень резко возрастает с увеличением анодного напряжения.

Это резкое увеличение тока вызывается увеличением энергии электронов и, следовательно, большей интенсивностью процесса ионизации. Зависимость между током и напряжением на аноде для газонаполненного фотоэлемента показана на фиг. 7. Для сравнения там же приведена зависимость фототока от напряжения для вакуумного фотоэлемента.

Усиление фототока, вызванное наполнением колбочки фотоэлемента газом, растет с увеличением напряжения.

В газонаполненных фотоэлементах фототок, вследствие ионизации газа, усиливается во много раз. При некотором значении напряжения на аноде возникает самостоятельный светящийся разряд. Критическое напряжение при котором происходит это крайне нежелательное явление называют по-

тенциалом зажигания. При зажигании фотоэлемента его ток резко увеличивается и не прекращается при исчезновении света. Фотоэлемент перестает реагировать на свет. Огромное число ионов обрушивается на катод и разрушает его. Поэтому самостоятельный разряд чрезвычайно опасен для фотоэлементов. Во избежание возникновения сильного тока при газовом разряде, «сжигающем» фотоэлемент, он обычно включается по-



Фиг. 7. Вольтамперные характеристики газонаполненного и вакуумного фотоэлемента.

1 — газонаполненный фотоэлемент ЦГ-3 при питании его постоянным током; 2 — то же переменным; 3 — вакуумный фотоэлемент.

следовательно с сопротивлением от 100 до 200 тыс. *ом* (омов). Это огромное сопротивление все-таки очень мало по сравнению с сопротивлением «незажженного», т. е. правильно работающего газонаполненного фотоэлемента, и почти не изменяет его работы, но оно велико по сравнению с его сопротивлением при самостоятельном разряде. Это сопротивление ограничивает силу тока самостоятельного разряда, если он почему-либо все-таки наступит, делает его менее опасным для фотоэлемента. Долгие годы, до появления трубок советских изобретателей Кубецкого и Тимофеева, наполнение газом было единственным способом усиления тока фотоэлемента в нем самом.

Однако газовое усиление, несмотря на его большие преимущества, имеет и недостатки. Во-первых, теряется пропорцио-

нальность между током и светом,— эта замечательная особенность вакуумных фотоэлементов Этот недостаток становится особено неприятным, если мы предполагаем использовать фотоэлементы для точных измерений световых потоков.

Во-вторых, газонаполненные фотоэлементы обладают инерцией. Если фотоэлемент внезапно осветить, то ток в нем устанавливается не сразу, а только после ряда соударений электронов с молекулами и ионов с катодом. Для того, чтобы току достичь своей максимальной величины, требуется некоторый промежуток времени, так как скорость движения ионов мала по сравнению со скоростями электронов. При внезапном прекращении света ток также не исчезает мгновенно.

Движение ионов и вторичное выбивание электронов из катода продолжаются еще некоторое время после прекращения света по инерции и затихают постепенно. Иногда для того, чтобы фотоэлемент окончательно «успокоился», требуется большое время.

Если частота световых вспышек будет очень велика, то фототок газонаполненного фотоэлемента не будет успевать следовать за этими изменениями и не сможет достичь максимального и минимального значения, т. е. чувствительность его резко падает.

Газонаполненные фотоэлементы проявляют свою инерцию, даже при небольших частотах, начиная уже с 1 000 периодов изменения света в секунду.

При 50 000 пер/сек газонаполненные фотоэлементы по чувствительности почти совсем не отличаются от вакуумных. Поэтому газонаполненные фотоэлементы не применяются там, где необходимо превращать в ток чрезвычайно быстро следующие друг за другом световые вспышки.

Некоторые типы фотоэлементов

Советская промышленность выпускает в качестве массовой продукции для звукового кино несколько типов газонаполненных фотоэлементов со сложными цезиевыми катодами, обработанными кислородом.

Стеклянные колбочки фотоэлементов наполняются небольшим количеством инертного газа — аргона. Благодаря ионным процессам, которые нами описаны выше, получается усиление фототока внутри самого фотоэлемента.

Один из таких фотоэлементов типа ЦГ-1, что значит цезиевый газонаполненный, предназначается для работы в стационарных киноустановках. Анод выведен к карболитовому цоколю со штырьками, как у обыкновенных усилительных радиоламп.

Один штырек цоколя соединен с выводом от анода, остальные три штырька — холостые.

Катод имеет отдельный вывод, в виде металлического отростка, укрепленного на задней стенке стеклянной колбы фотоэлемента. На внутреннюю поверхность колбы фотоэлемента нанесена тончайшая пленка серебра, а поверх нее слой цезия, обработанный кислородом. Часть внутренней поверхности колбочки чистая, не покрыта цезием, и через нее может свободно проходить свет.

Свет падает на цезиевый слой (фотокатод) и выбивает из него электроны, которые притягиваются к положительно заряженному аноду. Анод представляет собой небольшое колечко, расположенное в самом центре колбочки фотоэлемента. Колечко это по существу уменьшенная до размеров одной своей ячейки металлическая сетка, которая употреблялась в опытах А. Г. Столетова.

Другой тип фотоэлемента ЦГ-2 несколько меньшего размера, чем ЦГ-1, и для защиты от механических повреждений заключен в металлический кожух цилиндрической формы с карболитовыми крышками. В нижней крышке укреплены два штырька. К переднему штырьку выведен анод, к заднему — катод. Для попадания света в передней стенке футляра сделано окошечко овальной формы. Этот тип фотоэлемента используется в кинопередвижках К-25 завода ГОМЗ имени ОГПУ.

Интересен третий тип фотоэлементов — ЦГ-3, выпускаемый для кинопередвижки завода КИНАП. Он имеет небольшие габаритные размеры (фиг. 6). Анод и катод выведены к отдельным металлическим цоколям. Верхний цоколь (поменьше диаметром) — катод, нижний (потолще) — анод.

Наконец, фотоэлемент типа ЦГ-4 характерен своим большим карболитовым цоколем с двумя штырьками; предназначен для работы в звуковых приставках стационарных киноаппаратов.

Все эти фотоэлементы рассчитаны на номинальное рабочее напряжение в 250 *в* постоянного тока. При напряжении, большем 300 *в*, фотоэлементы «зажигаются», т. е. происходит самостоятельный газовый разряд, приводящий их в негодность.

Ток в темноте у всех этих типов фотоэлементов не превышает одной десятой доли микроампера, тогда как при освещении он дает самое меньшее 75 *мка* (микроампер) на люмен (нижний предел чувствительности) у фотоэлементов ЦГ-2 и ЦГ-4 и не менее 100 *мка* у типов ЦГ-1 и ЦГ-3.

Фотоэлементы с сурьмяно-цезиевыми катодами

В СССР были разработаны первые в мире сурьмяно-цезиевые фотоэлементы. Опыты с сурьмяно-цезиевыми фотокатодами показали, что они обладают весьма интересными и необыкновенными свойствами.

Разве не интересен тот факт, что сплав двух металлов сурьмы и цезия, образующий фотокатод, не обладает металлическими свойствами! Он не имеет характерного металлического блеска, прозрачен для света, начиная с длины волны в 600 миллимикрон (оранжевый участок спектра) и выше. Этот странный сплав обладает очень большим сопротивлением, которое для любого металла кажется чем-то необыкновенным.

Омическое сопротивление между двумя точками светочувствительного слоя из сурьмяно-цезиевого сплава, нанесенного на поверхность стеклянной колбочки фотоэлемента, может достигать 10 миллионов *ом* (!). И это всего лишь на расстоянии 2—3 *см* (сантиметров) между двумя точками. Поразительный факт! Сурьмяно-цезиевые фотоэлементы обладают огромными преимуществами. Они в 3 раза чувствительнее цезиево-кислородных фотоэлементов и гораздо долговечнее их.

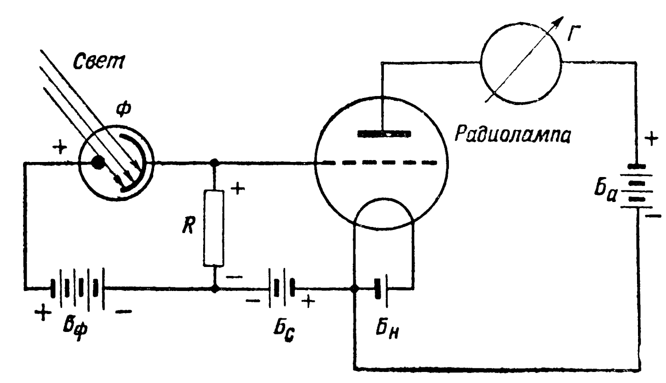
Сурьмяно-цезиевые фотоэлементы в больших пределах обладают постоянством чувствительности. Они не так быстро «утомляются», утомившись, не теряют в такой большой степени свою чувствительность, как газонаполненные цезиево-кислородные фотоэлементы. Сурьмяно-цезиевые фотоэлементы нашли широкое применение в фототелеграфных и в телевизионных устройствах, в автоматике и в телемеханике.

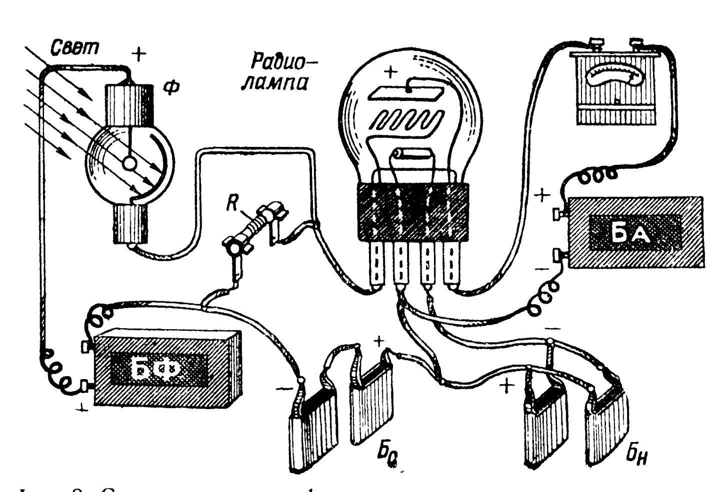
Советские сурьмяно-цезиевые вакуумные фотоэлементы, пускаемые Московским электрокомбинатом имени В. В. Куйбышева, имеют обозначение СЦВ.

Хотя ток современных вакуумных и газонаполненных фотоэлементов значительно превышает фототок, который получался в первых конструкциях А. Г. Столетова, все же он очень мал, и использовать его без усиления можно лишь в редких случаях (специальные лабораторные исследования и измерения). Посредством электронных ламп ток вакуумных и газонаполненных фотоэлементов можно усилить и практически использовать. Усиленный радиолампами фототок в состоянии воздействовать не только на электроизмерительный прибор, но и на более мощные механизмы, как, например, на небольшие электродвигатели, на электромагнитные реле и т. д.

2. ПРИНЦИП УСИЛЕНИЯ ФОТОТОКОВ

Одна из наиболее распространенных схем усиления фототоков изображена на фиг. 8. Как видно из этого рисунка, фотоэлемент замыкают на высокоомное сопротивление R, называемое «сопротивлением нагрузки». Через это сопротивление на сетку радиолампы постоянно подается отрицательное смещение от электрической батареи. Это сопротивление играет





Фиг. 8. Схема включения фотоэлемента и высокоомного сопротивления в цепь управляющей сетки радиолампы (вверху рисунка изображена принципиальная схема, внизу — монтажная).
$Ф$ — фотоэлемент; R — высокоомное сопротивление; $Г$ — гальванометр; $Б_ф$ — батарея фотоэлемента; $Б_с$ — батарея смещения; $Б_н$ — батарея накала; $Б_а$ — анодная батарея.

в схеме усиления фототоков очень важную роль. Фототок i, проходя по сопротивлению R, создает на нем падение напряжения iR. Падение напряжения iR направлено от сетки к нити радиолампы, т. е. действует навстречу потенциалу батареи смещения, уменьшая отрицательный потенциал.

Если фотоэлемент не освещен, фототок равен нулю, а следовательно, падения напряжения на сопротивлении R нет, и поэтому сетка лампы находится только под влиянием отрицательного потенциала батареи смещения.

Лампа в этом случае «заперта» отрицательным смещением на сетке, и ее анодный ток ничтожно мал. Если постепенно увеличивать световой поток, падающий на катод фотоэлемента, то фототок и, следовательно, величина падения напряжения на сопротивлении нагрузки будут все более и более возрастать. Отрицательный заряд на сетке радиолампы будет при этом уменьшаться за счет положительного потенциала, снимаемого с сопротивления нагрузки, а анодный ток ее соответственно будет все более и более увеличиваться, пока не наступит момент насыщения.

Рассчитать усиление фототока, даваемое электронной лампой, очень просто. Возьмем для примера усилительную лампу с тремя электродами (триод).

Пусть, например, увеличение напряжения на сетке этой лампы на 1 *в* вызывает увеличение анодного тока на 2 *ма* (миллиампера).

Радиотехники, определяя способность электронной лампы увеличивать анодный ток в зависимости от напряжения на сетке, в данном случае сказали бы так: «Крутизна характеристики лампы равна двум миллиамперам на вольт».

Допустим, что при освещенном фотоэлементе его фототок равен одной миллионной доле ампера; тогда падение напряжения на сопротивлении нагрузки будет равно $iR = 1 \cdot 10^{-6} R$ вольт.

Если взять сопротивление нагрузки, равное 10 млн. *ом*, то падение напряжения на нем будет по закону Ома равно произведению одной миллионной доли ампера на 10 млн. *ом*. Это составит 10 *в*. Чем выше сопротивление, тем при том же самом токе фотоэлемента получается большее падение напряжения. Это нам и нужно.

Следовательно, анодный ток лампы возрастает на $2 \cdot 10 = 20$ *ма*. Усиление фототока получилось огромное. Фотоэлемент давал всего одну миллионную долю ампера, а в результате усиления этого тока электронной лампой мы получили 20 тысячных долей ампера.

Усиление фототока получилось равным

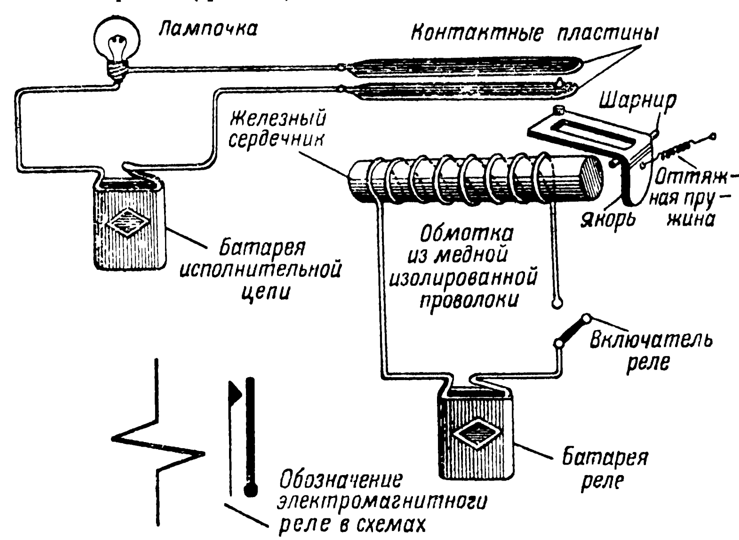
$$\frac{20 \text{ тысячных ампера}}{1 \text{ миллионную ампера}} = \frac{0{,}020}{0{,}000001} = 20\,000 \text{ раз (!)}.$$

Таким образом, электронная лампа усилила слабый фототок в 20 000 раз при сопротивлении нагрузки фотоэлемента в 10 млн. *ом* (10 мегом).

Ток силой в 20 *ма* может привести в действие не только электроизмерительный прибор, но и более мощные аппараты.

3. ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ РЕЛЕ

Электромагнитное реле устроено очень просто. Если взять электромагнит — железный сердечник, обмотанный изолированной проволокой,— и пристроить к нему на шарнире кусочек мягкого желёза так, чтобы он при своем движении мог замыкать контакты электрической цепи, то получится электромагнитное реле (фиг. 9).

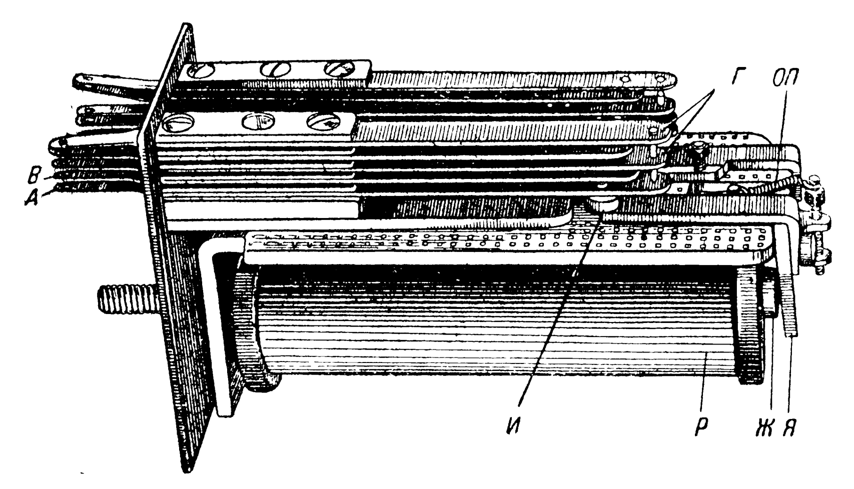


Фиг. 9. Схематическое изображение электромагнитного реле.

Пропустим через обмотку электромагнита ток. Сердечник его намагнитится и притянет кусочек железа — якорь. Якорь надавит на контакты и замкнет их или разомкнет. Если ток выключить, сердечник электромагнита размагнитится и якорь опять вернется на прежнее место, потому что его оттянет назад маленькая пружина.

Реле — это то же выключатель, с той лишь разницей, что цепь исполнительных механизмов (электрической лампочки, электрозвонка и т. д.) замыкается не вручную, как это делается обычными выключателями, а якорем электромагнита.

Реле строят с различным числом контактов. Контакты бывают замыкающие, размыкающие и переключающие. Часто на одно реле ставят и те, и другие контакты.



Фиг. 10. Электромагнитное реле телефонного типа.
ГГ — контактные пластинки; *Я* — якорь; *И* — скобочка якоря; *Ж* — сердечник; *Р* — катушка реле; *ОП* — оттяжная пружинка.

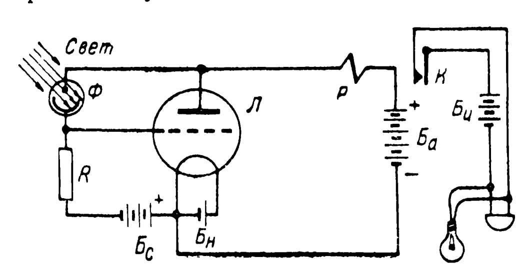
В телемеханике и автоматике широко пользуются так называемыми телефонными реле. На фиг. 10 показано шестиконтактное реле телефонного типа. На фото видна круглая катушка из изолированной медной проволоки, надетая на стальной сердечник. Справа виден якорь, оттянутый за верхний конец спиральной пружинкой. К якорю привинчена металлическая скобочка, которая производит переключение контактных пластин. К концам контактных пластин подпаиваются электрические провода, соединяемые с исполнительными цепями.

Кроме реле телефонного типа, в технике слабых токов применяется также ряд других конструкций электромагнитных реле.

На железных дорогах для целей сигнализации, централизации и блокировки применяют так называемые кодовые реле. Это более массивные приборы, часто со многими парами контактов, выдерживающих большую нагрузку.

4. ФОТОРЕЛЕ С ПИТАНИЕМ ОТ ИСТОЧНИКА ПОСТОЯННОГО ТОКА

Включим в анодную цепь усилительной радиолампы (фиг. 11) вместо измерительного прибора, т. е. гальванометра, электромагнитное реле. Якорь его будет притягиваться и переключать контакты исполнительной (внешней) цепи всякий раз, когда на фотоэлемент будет падать свет. Как только свет прекратится, фототок уменьшится почти до нуля, и отрицательное смещение батареи $Б_с$ «запрет» лампу. Анодный ток лампы при этом уменьшится до столь незначительной величины, что якорек реле, оттягиваемый пружинкой, оторвется от сердечника и разомкнет контакты.



Фиг. 11. Принципиальная схема фотореле на постоянном токе.

$Б_c$ — батарея смещения; $Б_a$ — анодная батарея (общая для фотоэлемента и радиолампы); $Б_н$ — батарея накала радиолампы; $Б_ц$ — батарея исполнительной цепи; $И$ — исполнительная цепь (сигнализационная лампочка и электрозвонок); $К$ — контакты электромагнитного реле; $Ф$ — фотоэлемент; $Л$ — радиолампа; R — высокоомное сопротивление.

Получается как бы световой выключатель. При свете реле замыкает контакты, в темноте — размыкает. Этот световой выключатель и называют фотореле.

На контакты фотореле можно включить различные механизмы: сигнализационную лампочку, электрический звонок или другое более мощное электромагнитное реле.

Мощным электромагнитным реле можно включать электродвигатели и другие сильноточные аппараты. Таким образом, лучи света могут управлять включением или выключением электрических аппаратов любой мощности.

Лучи света создаются осветителем, состоящим из электрической лампочки накаливания, помещенной в металлическую трубку с линзой или в рефлектор.

Подробно о том, как устроены осветители, будет рассказано ниже.

В схеме, показанной на фиг. 11, анод фотоэлемента питается от той же самой анодной батареи, что и радиолампа. Это совершенно то же самое, как если бы у нас была не одна, а две батареи, и каждая питала бы аноды лампы и фотоэлемента отдельно.

Итак, каждое фотореле состоит из фотоэлемента, усилителя фототока, электромагнитного реле, источников питания (батарей) и осветителя.

Осветитель создает узкий пучок света, направляемый на фотоэлемент. Иногда осветитель заменяют естественным дневным светом. Ток фотоэлемента усиливается радиолампой, в анодную цепь которой включена обмотка электромагнитного реле.

Реле включает или выключает исполнительные механизмы, которые должны быть приведены в действие или, наоборот, действие которого должно прекратиться.

Разберем работу фотореле на каком-нибудь конкретном примере. Допустим, что при пересечении луча света, перегораживающего вход в какое-нибудь помещение кем-либо из посторонних, фотореле должно сигнализировать об этом охране Исполнительные механизмы—самые простые: сигнальная лампочка и электрический звонок.

В фотоэлемент все время падает луч света, пока кто-нибудь его не пересечет. Так как в фотоэлемент попадает свет, то на сетку усилительной лампы подается положительный потенциал. Анодный ток лампы проходит по обмотке электромагнитного реле, который держит якорь притянутым.

Исполнительные цепи электрозвонка и сигнальной лампочки, установленных в комнате дежурного, при этом разомкнуты. Но как только кто-нибудь пересечет луч света, падающий на фотоэлемент, радиолампа «запирается», якорь реле отпускает и замыкает контакты, включающие тревожную сигнализацию.

Действие описываемого фотореле основано на прерывании луча света, постоянно падающего на фотоэлемент. Тревожная сигнализация начинает работать не только тогда, когда пучок света будет пересечен нарушителем, но и в случае неисправности фотореле или осветителя. Перегорит ли лампочка осветителя, потеряет ли свою чувствительность фотоэлемент, потеряет ли свою эмиссию усилительная радиолампа, нарушится ли где-нибудь контакт, или, наконец, «сядут» батареи и выключится питание,— во всех этих случаях ток в обмотке реле прервется и включится сигнал. Такая схема соединений фотореле называется схемой, работающей на постоянно включенном токе.

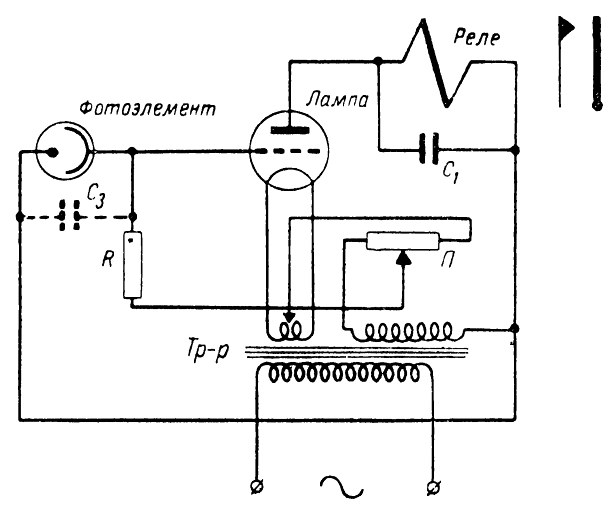
Эту схему можно изменить таким образом, чтобы она действовала на «рабочем токе». Для этого контакты реле надо включить так, чтобы они замыкались лишь при прохождении тока через обмотку реле, т. е. при наличии света, а при

затемнении—размыкались. Тогда каждый попадающий в фотоэлемент световой луч достаточной силы «отопрет» лампу и замкнет контакты исполнительной цепи. Такое устройство удобно, например, для автоматического открывания дверей гаража при освещении их фарами приближающейся автомашины.

Схемы на постоянно включенном токе надежнее, чем схемы на рабочем токе, так как при какой-либо аварии в фотоэлектронных устройствах они сами автоматически подают об этом сигнал.

5. ФОТОРЕЛЕ С ПИТАНИЕМ ОТ СЕТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Схема фотореле на переменном токе изображена на фиг. 12. Работа фотореле при питании его от сети переменного тока основана на односторонней проводимости как усилительной лампы, так и фотоэлемента. За каждый период переменного



Фиг. 12. Схема фотореле на переменном токе.

тока на аноде усилительной лампы и фотоэлемента в течение одного полупериода получается положительное напряжение, а в течение другого — отрицательное. Когда на анодах лампы и фотоэлемента — отрицательная полуволна напряжения, ток через них не пойти не может, независимо от того, освещен или не освещен фотоэлемент. При положительной полуволне на-

пряжения на анодах фотоэлемента и усилительной лампы возможны два случая.

Предположим, что фотоэлемент освещен (первый случай). Тогда через него пойдет фототок, который создает падение напряжения на сопротивлении нагрузки *R*. Падение напряжения на сопротивлении *R* вызывает подачу на сетку усилительной лампы, как и в предыдущих схемах, положительного потенциала. С другой стороны, на сетку лампы подается отрицательное смещение через сопротивление автоматического потенциометра *П*.

Падение напряжения на нагрузочном сопротивлении фотоэлемента действует навстречу автоматическому смещению и в результате на сетке получается нулевой потенциал. Следовательно, через усилительную лампу пройдет полуволна переменного тока. Все это будет продолжаться всего лишь одну сотую долю секунды, т. е. время, в течение которого напряжение меняется от нуля до максимума и опять до нуля (мы имеем в виду 50-периодный переменный ток).

Но и этого короткого импульса тока достаточно, чтобы сработало электромагнитное реле, включенное в анодную цепь электронной лампы. Время срабатывания большинства реле телефонного типа еще меньше, чем 0,01 секунды. Но уже в следующую сотую долю секунды ток в анодной цепи прекратится, потому что напряжение на аноде будет отрицательным. В следующую сотую секунды — опять импульс анодного тока, и так будет повторяться до тех пор, пока фотоэлемент освещен. Таким образом, ток в анодной цепи лампы будет пульсирующим.

Как же будет вести себя реле, включенное в анодную лампу при питании пульсирующим током? Поведение реле будет зависеть от того, какое у него время отпускания якоря после прекращения тока в его обмотке. Если оно отпускает свой якорь с такой же скоростью, как и притягивает его, то при каждой отрицательной полуволне анодного напряжения оно будет выключаться. В результате получится дрожание якорька реле в такт полупериодам пульсирующего тока в цепи лампы.

Чтобы избежать дрожания якоря реле, есть два способа. Либо нужно подобрать такое реле, время отпускания которого было бы больше, чем $^1/_{50}$ секунды (полный период переменного тока сети), либо параллельно его обмотке следует включить конденсатор. Этот конденсатор (на схеме обозначен C_1) называют блокировочным. Заряжаясь в течение положительного полупериода питающего тока, он в следующие пол-

периода разряжается и таким образом непрерывно поддерживает питание электромагнитного реле, не давая ему выключаться (при освещенном фотоэлементе).

Теперь посмотрим, что произойдет при прерывании луча света, падающего на фотоэлемент (второй случай). Протекающий через усилительную лампу ток благодаря автоматическому смещению даст на сетку отрицательный потенциал, и лампа «запрется». Сила пульсирующего анодного тока при этом уменьшается. Движком потенциометра *П* подбирают такую величину напряжения смещения на сетке лампы, чтобы при изменениях силы света включалось и выключалось электромагнитное реле.

Описанная схема очень проста и удобна, хотя и имеет некоторые недостатки. Во-первых, фотоэлемент нельзя располагать далеко от усилительной лампы. Электрические провода между сеткой лампы и анодом фотоэлемента образуют емкость C_3, указанную на фиг. 12 пунктиром. Так как сопротивление фотоэлемента очень велико, то переменный ток может целиком пойти через эту небольшую емкость C_3. Этот паразитный ток может перекрыть слабые фототоки, и фотореле перестанет реагировать на изменение освещения фотоэлемента. Поэтому схему, изображенную на фиг. 7, можно применять только в тех случаях, когда длина проводов от сетки усилительной лампы до фотоэлемента невелика [порядка 1 *м* (метра)].

Важное значение имеет также сопротивление изоляции соединительных проводов. Если сопротивление изоляции проводов будет равно или меньше сопротивления фотоэлемента, то токи утечки опять-таки перекроют фототоки, и фотореле нормально работать не будет.

Вторым недостатком схемы фотореле на переменном токе, как мы уже знаем, является необходимость либо применять медленно-действующее на отпускание электромагнитное реле или включать блокировочный конденсатор. Реле должно срабатывать в течение промежутка времени, равного нескольким периодам (по крайней мере двум) переменного тока в сети, иначе реле (если оно быстродействующее) будет размыкать и замыкать цепь с частотой пульсации анодного тока. Скорость действия такой схемы фотореле (без выпрямителя) ограничена, следовательно, десятыми долями секунды. Впрочем, в очень многих случаях практики эти недостатки фотореле на переменном токе несущественны.

Иногда, особенно при управлении посредством луча света на большом расстоянии, одного каскада усиления бывает не-

достаточно. В этих случаях обычно применяют многоламповый усилитель и в анодную цепь его последней лампы включают электромагнитное реле. Электронными лампами фототок даже при большой частоте изменения световых импульсов можно усилить в несколько миллионов раз.

Усилитель может усиливать без помех только те напряжения (на сетке входной лампы), которые по своей амплитуде (размаху) превышают 0,00001 *в*. Таким образом, например, если $R = 100\,000$ *ом*, минимальный фототок i, который может быть усилен, будет $i = \frac{0{,}00001}{100\,000} = 10^{-10}$ *а* (ампера), т. е. одна десятитысячная доля микроампера. Ламповые усилители применяют главным образом тогда, когда важно сохранить пропорциональность между усиленным током и силой света (звуковое кино, телевидение и т. д.). Когда же фотоэлемент используется в качестве реле, реагирующего на присутствие или отсутствие света (фотореле), усилительные радиолампы можно заменять тиратронами.

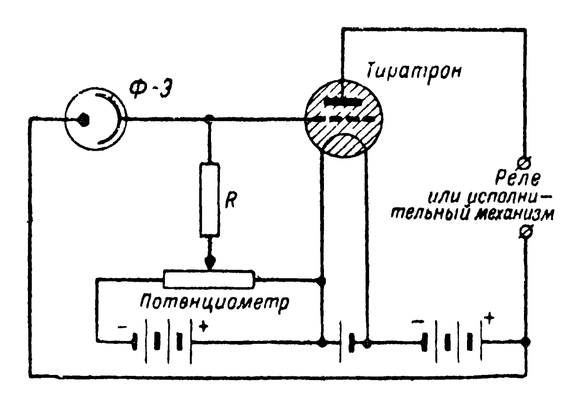
6. ФОТОРЕЛЕ С ТИРАТРОНОМ

Если вместо радиолампы включить так называемый тиратрон, то усиление будет еще больше. Тиратрон отличается от обычной трехэлектродной радиолампы тем, что его колбочка наполнена каким-либо инертным, химически не активным газом (аргоном, неоном) или парами ртути. Так же как и в газонаполненных фотоэлементах, газ в тиратронах находится под очень небольшим давлением, порядка десятых долей миллиметра ртутного столба.

Потенциометром меняют напряжение на сетке. При отрицательном потенциале на сетке электроны, вылетающие из раскаленной нити тиратрона, не приобретают достаточной скорости, чтобы ионизировать молекулы газа, наполняющего колбочку, и образуют около нити пространственный заряд (облачко). При этом анодный ток тиратрона почти равен нулю.

Если повысить напряжение на сетке тиратрона, то скорость электронов увеличится и при некотором значении становится достаточной для ионизации молекул газа. Наступает газовый разряд, и тиратрон, как говорят, «зажигается». Ток, протекающий через тиратрон при газовом разряде, может достигать нескольких ампер или даже нескольких десятков ампер. Ток в тиратроне устанавливается в весьма короткий промежуток

времени, порядка одной десятитысячной и даже стотысячной доли секунды, и не зависит от дальнейшего изменения потенциала на сетке. На сетку зажженного тиратрона можно подать положительное или отрицательное напряжение и это на его работу не окажет совершенно никакого действия. Зажечь тиратрон можно повышением напряжения на сетке, но погасить его, уменьшая напряжение, уже нельзя. Ток тиратрона зависит только от напряжения анодной батареи и сопротив-



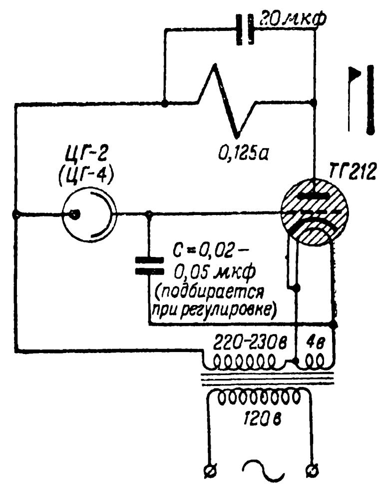
Фиг. 13. Схема усиления фототоков тиратроном при питании постоянным током.

ления нагрузки. Возникший ионный ток можно прервать, либо разорвав анодную цепь, либо уменьшив напряжение на аноде ниже напряжения погасания.

Напряжение на сетке, при котором тиратрон зажигается, зависит от рода газа, его давления и напряжения на аноде. Изменением напряжения смещения на сетке можно в довольно широких пределах изменять напряжение зажигания на аноде. Изменение смещения на сетке только на 1 *в* изменяет анодное напряжение зажигания на десятки вольт. Схема фотоусилителя с тиратроном при питании от электрических батарей изображена на фиг. 13. Когда на фотоэлемент попадает свет, фототок, проходя по сопротивлению *R*, создает падение напряжения, которое, накладываясь на сетку, зажигает тиратрон. Для управления тиратроном достаточны токи порядка одной миллионной доли ампера и менее. Если в анодной цепи тиратрона протекает ток в 1 *а*, то получается усиление в миллион раз и более. При применении тиратрона можно обойтись без электромагнитного реле, включая непосредственно в его

анодную цепь необходимые приборы, например: небольшие моторчики, сигнальные лампы, электрические звонки и т. д.

При питании тиратрона переменным током (фиг. 14) за каждый период ток будет идти только в течение одного неполного полупериода. В течение остального времени тока нет, и если сигнал на сетке уменьшился, то ток прервется, так как напряжение на аноде в отрицательном полупериоде не зажжет тиратрона.



Фиг. 14. Одна из схем фотореле с тиратроном при питании от сети переменного тока (в отсутствие света на сетке тиратрона — отрицательный потенциал, тиратрон — заперт).

Положительные стороны применения тиратронов в схемах фотоэлектронной автоматики заключаются в том, что фотореле с ними чрезвычайно чувствительны, практически безинерционны и в ряде случаев не требуют применения контактных систем. Тиратронному способу усиления фототоков, безусловно, принадлежит большое будущее в фотоэлектронной автоматике.

7. ДРУГИЕ ТИПЫ ФОТОРЕЛЕ

Кроме фотоэлементов, сконструированных впервые проф. А. Г. Столетовым и основанных на открытом им «внешнем» фотоэффекте, существуют и другие типы фотоэлементов. К ним в частности относятся так называемые вентильные фотоэлементы (с запирающим слоем). Этот тип фотоэлементов был разработан в результате изучения твердых детекторов, обладающих способностью проводить электрический ток в одном направлении. Основное отличие вентильных фотоэлементов от фотоэлементов, основанных на внешнем фотоэффекте, заключается в том, что они сами создают электрическую энергию, не требуя никаких посторонних источников напряжения.

Вентильные фотоэлементы бывают различных типов: меднозакисные, селеновые и др.

Кроме того, в Советском Союзе разработаны высокочувствительные фотосопротивления, изменяющие под воздействием света свою электрическую проводимость, а также фотоэлементы со вторичной эмиссией (трубки Кубецкого и Тимофеева).

Фотореле с вентильным фотоэлементом самому изготовить трудно, потому что для него требуется очень чувствительное электромагнитное реле. Это объясняется тем, что внутреннее сопротивление вентильных фотоэлементов очень мало. Фототоку поэтому легче замкнуться внутри фотоэлемента, нежели идти во внешнюю цепь, на реле с высоким сопротивлением обмотки. Отсюда следует, что электромагнитное реле, питаемое от вентильного фотоэлемента, должно иметь небольшое сопротивление обмотки, т. е. небольшое число витков довольно толстой проволоки. Однако, чем меньше число витков, тем при прочих равных условиях. меньше сила притяжения якоря реле к сердечнику. Поэтому реле и должно быть очень чувствительным, отзывающимся на небольшое число ампер-витков. Существующие типы фотореле вентильного действия обычно работают на гальванометры или на низкоомные гальванометрические реле.

Трубки Кубецкого и Тимофеева также не подходят для изготовления самодельных фотореле. Их трудно достать, и они устроены гораздо сложнее, чем обычные фотореле с типовыми фотоэлементами.

ГЛАВА ВТОРАЯ

КАК САМОМУ СДЕЛАТЬ И ОТРЕГУЛИРОВАТЬ МАЛОГАБАРИТНОЕ ФОТОРЕЛЕ

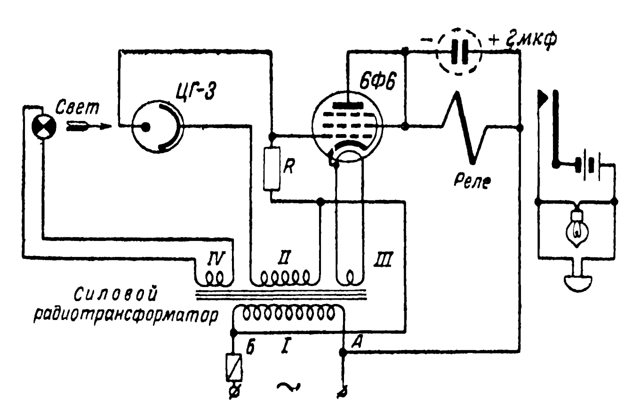
1. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА

Принципиальная схема самодельного малогабаритного фотореле (фиг. 15) несколько отличается от описанных ранее, и работа его происходит иначе. При попадании света на катод фотоэлемента из него испускаются электроны. Под воздействием анодного напряжения, создаваемого высоковольтной обмоткой трансформатора, эти электроны летят на анод фотоэлемента, а затем через высокоомное сопротивление R и через обмотку $П$ трансформатора поступают обратно на катод.

Получается замкнутая электрическая цепь, по которой с огромной скоростью проносится поток электронов, образовавшихся благодаря действию света на светочувствительный слой катода фотоэлемента, и электронов, образовавшихся от расщепления молекул газа, наполняющего колбочку фотоэлемента. Для простоты сумму этих двух электронных потоков будем называть фототоком. Проходя по высокоомному сопротивлению, фототок создает на его концах падение напряже-

ния, измеряемое в вольтах и равное произведению фототока (в микроамперах) на величину сопротивления (в мегомах).

Это напряжение подается на управляющую сетку усилительной радиолампы, причем минус, т. е. отрицательный потенциал, получается на сетке лампы, а плюс — на катоде. Значит, при освещенном фотоэлементе радиолампа будет «заперта» отрицательным смещением. Поэтому анодный ток радиолампы будет ничтожным и недостаточным для того, чтобы электромагнитное реле телефонного типа, включенное в анодную цепь, притягивало свой якорь. Якорь реле будет



Фиг. 15. Принципиальная схема самодельного фотореле.
А и Б — фазы переменного тока питающей сети.

оттянут спиральной пружинкой, и исполнительные контакты его будут разомкнуты. Впрочем, можно сделать и наоборот. Если контакты телефонного реле при непритянутом якоре взять замкнутыми, то сигнализационная исполнительная цепь будет все время под током, пока освещен катод фотоэлемента. Когда же якорь реле будет притянут, то он, наоборот, не замкнет, а разомкнет контакты.

На реле можно установить не одну, а две или три пары контактов. Если одна пара контактов замкнута и в то же самое время другая пара контактов разомкнута, то в одной сигнализационной цепи при непритянутом якоре исполнительные механизмы будут включены, а в другой — выключены. При притяжении якоря будет наоборот: замкнутые контакты разомкнутся, — лампочка, включенная в их цепь, погаснет, а разомкнутые — замкнутся, и звонок, включенный в их цепь,

придет в действие. Меняя контактные группы на реле, можно осуществлять любые комбинации включения и выключения исполнительных сигнализационных цепей. Контактные группы телефонных реле бывают не только замыкающие или размыкающие, но и переключающие.

Вернемся к рассмотрению описываемой принципиальной схемы.

При затемнении фотоэлемента (выключение лампочки осветителя или пересечение пучка световых лучей, падающих на фотоэлемент, каким-нибудь непрозрачным предметом) происходит следующее. Ток фотоэлемента становится почти равным нулю (если не считать совершенно ничтожного так называемого «темнового» тока фотоэлемента). Вследствие этого на высокоомном сопротивлении нагрузки фотоэлемента падение напряжения становится равным нулю. Значит, на сетку радиолампы подается нулевой потенциал, и она «отпирается». Анодный ток радиолампы почти мгновенно увеличивается от нуля до некоторой величины и электромагнитное реле срабатывает, включая (или выключая) контакты исполнительных цепей.

Путь анодного тока радиолампы будет такой: электроны, испускаемые накаленным катодом, летят на анод в момент, когда он находится под положительным потенциалом полуволны переменного тока. Проходя по обмотке реле (и одновременно заряжая блокировочный электролитический конденсатор), анодный ток идет далее по первичной обмотке трансформатора и возвращается на катод радиолампы. Получается замкнутая электрическая цепь.

Через $^1/_{200}$ долю секунды анодное напряжение радиолампы упадет до нуля. Электроны, испускаемые нагретым катодом лампы, перестанут притягиваться анодом, и анодный ток будет равен нулю. Еще через $^1/_{200}$ секунды на аноде радиолампы появится максимальный отрицательный потенциал, анодный ток будет опять равен нулю, и лишь через $^1/_{100}$ долю секунды на анод будет вновь подан максимальный положительный потенциал. Электроны, испускаемые нагретым катодом радиолампы, снова начнут притягиваться анодом, и опять возникнет анодный ток.

Время срабатывания у нормальных (не замедленных) телефонных реле обычно бывает меньше $^1/_{60}$ секунды. Поэтому якорь телефонного реле, следуя за изменениями анодного тока, то притягивался бы, то отпадал с частотой 50 раз в секунду.

Чтобы не было таких дрожаний якоря реле, параллельно его обмотке и включен блокировочный конденсатор. В те мо-

менты, когда на аноде плюс, конденсатор заряжается, а при отрицательной полуволне переменного тока сети — разряжается на обмотку реле. Поэтому ток, протекающий по обмотке реле, будет со сглаженной пульсацией, и якорек реле не колеблется. Таким простым способом достигается устойчивая работа электромагнитного реле.

Такова картина работы фотореле при затемнении света, падающего на фотоэлемент.

Есть еще одно важное обстоятельство, от которого зависит правильная работа фотореле. Когда фотоэлемент освещен, радиолампа в этой схеме должна быть «заперта», и анодный ток ее должен быть равен нулю. Но ведь управляющая электронным потоком сетка радиолампы получает то отрицательный, то положительный потенциал переменного тока сети.

В моменты, когда на сетке лампы минус, все обстоит благополучно: при освещенном фотоэлементе лампа будет «заперта». Но когда возникает положительная полуволна, то как будто бы должен возникнуть анодный ток, так как сетка, получив положительный потенциал, должна «отпереть» лампу. Так ли это? Для фотореле совсем не безразлично, присоединен ли провод от анода радиолампы *А* (фиг. 15) к той или другой фазе сети переменного тока. Провода, идущие от анода *А* и от катода *Б* лампы, должны быть включены так, чтобы когда на аноде плюс, на сетке был минус, и наоборот.

Как правильно включить фазы, объяснено дальше (см. стр. 53 о регулировке фотореле).

Принципиальная схема фотореле, которая здесь рассматривается, называется негативной (обратного действия), в противоположность ранее описанным фотореле, которые работают по позитивной (прямого действия) схеме.

При освещенном фотоэлементе анодный ток радиолампы в позитивной схеме максимальный, а в негативной он равен нулю. При затемнении же получается наоборот. В тех случаях применения фотореле, когда фотоэлемент большее время освещается и световые лучи от осветителя пересекаются редко, выгоднее применять негативную схему включения. Это удлинит срок службы усилительной радиолампы за счет меньшего расхода тока эмиссии, т. е. электронов, излучаемых накаленной нитью и притягиваемых анодом.

Позитивные схемы включения фотоэлемента, наоборот, выгоднее употреблять в тех случаях, когда фотоэлемент бо́льшую часть времени затемнен и находится под воздействием световых лучей лишь короткие промежутки времени.

2. ДЕТАЛИ САМОДЕЛЬНОГО ФОТОРЕЛЕ

Как видно из принципиальной схемы, фотореле состоит из фотоэлемента, усилительной радиолампы, трансформатора, электромагнитного реле, блокировочного конденсатора и высокоомного сопротивления.

Фотоэлемент ЦГ-3, примененный в малогабаритном фотореле, выпускался нашей промышленностью в массовом количестве для звуковых кинопередвижек. Поэтому его легче приобрести, чем другие типы фотоэлементов, в магазинах, торгующих фото-кинопринадлежностями. Этот фотоэлемент весьма небольших размеров и дает вполне достаточный для дальнейшего усиления фототок даже при небольшой силе света.

Устройство фотоэлемента ЦГ-3 было описано на стр. 20, а его внешний вид изображен на фиг. 6.

При работах с фотоэлементом ЦГ-3 (и с другими газонаполненными фотоэлементами) необходимо помнить, что напряжение на его аноде должно быть всегда на 30—40 *в* ниже так называемого потенциала зажигания.

Потенциал зажигания обычно указывается в паспорте фотоэлемента, который необходимо требовать при его покупке. Потенциал зажигания — это то наибольшее (максимальное) напряжение, при котором зажигается самостоятельный газовый разряд в фотоэлементе, быстро приводящий его в полную негодность. Для каждого экземпляра фотоэлемента максимальное напряжение, вызывающее разрушение его светочувствительного слоя, разное Оно указывается заводом-изготовителем в паспорте фотоэлемента.

Фотоэлемент (вакуумный или газонаполненный) для самодельных фотореле желательно включать последовательно с сопротивлением не менее 100 000—200 000 *ом*.

И последнее замечание: не следует допускать нагревания фотоэлемента выше 50°. Светочувствительный слой, нанесенный на серебряную подкладку колбочки фотоэлемента, под действием высокой температуры очень быстро испаряется. Цезий летуч более, чем другие щелочные металлы, применяемые для светочувствительных слоев катодов фотоэлементов, и температура выше 50° С для него особенно опасна. Поэтому при монтаже прибора фотоэлемент нужно располагать как можно дальше от радиолампы, которая при работе нагревается сильнее других деталей.

Для уменьшения габаритных размеров в самодельном фотореле можно применить усилительную радиолампу типа 6Ф6 (металлической серии) — низкочастотный пентод, обычно ис-

пользуемый для усиления низкой частоты на выходе радиоприемников. Мощность этой лампы вполне достаточна для того, чтобы от нее нормально работало электромагнитное реле.

Лампы металлической серии 6Ф6 имеют более жесткое крепление деталей, чем стеклянные усилительные лампы. Это значит, что при тряске и случайных ударах по фотореле лампа не дает самопроизвольного замыкания электромагнитного реле, включенного в ее анодную цепь.

Трансформатор фотореле нужен для понижения напряжения осветительной сети переменного тока (110 или 220 *в*) до 5,5—6,3 *в*. Не обязательно обмотку трансформатора рассчитывать на полное напряжение нити накала усилительной радиолампы.

Если для питания нити накала лампы дать пониженное напряжение (5,5—5,7 *в*), то срок ее службы удлинится во много раз. Кроме того, она не будет так сильно нагреваться, а значит, не будет вредно влиять на фотоэлемент, расположенный в одном с нею кожухе.

Кроме понижения напряжения осветительной сети для накала нити радиолампы, трансформатор должен давать еще и высокое напряжение для питания цепи фотоэлемента. Это напряжение должно быть на 10—20 *в* ниже потенциала зажигания фотоэлемента. Обычно напряжение в 275 *в* на зажимах повышающей обмотки трансформатора вполне достаточно для питания цепи фотоэлемента.

Обмотка высокого напряжения должна быть тщательно изолирована от других обмоток и от корпуса трансформатора слоями парафинированной бумаги или лакотканью. Если изоляция обмотки из очень тонкого провода будет пробита, то ее трудно ремонтировать.

Третья обмотка трансформатора необходима для питания осветительной лампочки. В зависимости от того, какая лампочка применяется для осветителя (4, 6 или 12 *в*), число витков этой третьей обмотки будет различно.

Четвертая (первичная) обмотка трансформатора включается в сеть переменного тока. Осветительная сеть наших городских квартир обычно имеет напряжение 110, 127 и 220 *в*, в дачных местностях, на заводах и фабриках — чаще всего 220 *в*.

Фотореле должно включаться в сеть только такого напряжения, на которое рассчитаны их трансформаторы. Нельзя, например, фотореле, рассчитанное на 110 *в*, включать в сеть 220 *в*. При такой неосторожности фотореле немедленно выйдет

из строя. Нельзя также фотореле, рассчитанное на 220 *в*, включать в сеть 110 *в*. При напряжении, которое в 2 раза меньше расчетного, фотореле не будет работать.

При изготовлении фотореле для сети 110 и 220 *в* трансформатор должен иметь две обмотки. Одна обмотка рассчитывается на питание от 110, а другая — от 220 *в*. Можно сделать, конечно, одну обмотку и разделить ее на две равные части. Любая из этих частей обмотки включается на 110 *в*, а обе последовательно — на 220 *в*. Так и сделаны обмотки в обычных силовых радиотрансформаторах.

Трансформатор можно взять готовый покупной или сделать самому. С готовым трансформатором меньше хлопот, особенно если его катушка цела, изоляция ее не повреждена и все обмотки вполне исправны. При наличии силового радиотрансформатора, рассчитанного на питание ламп металлической серии, необходимо только намотать на него дополнительную обмотку для лампочки осветителя. Места для этой обмотки нужно совсем немного, и она поместится поверх намотанной катушки. Впрочем осветитель всегда можно питать от отдельного понижающего трансформатора.

Электромагнитное реле — телефонного типа должно иметь высокое сопротивление обмотки — порядка 4 000—8 000 *ом*.

При наличии телефонного реле с меньшим сопротивлением обмотки его катушку нужно перемотать более тонким медным, изолированным эмалью проводом диаметром 0,05 *мм*. Провод наматывают на катушку реле до заполнения.

Особенно серьезное внимание следует обратить на контакты реле. В любых электрических схемах нет более уязвимого места, чем контакты. Они загрязняются, окисляются и обгорают. Если какой-нибудь электрический механизм перестал надежно работать, в первую очередь всегда нужно проверить исправность его контактов.

Контакты телефонных реле обычно изготовляются из чистого серебра или из контактного сплава, в который, кроме серебра, входят платина и золото или вольфрам. Контакты приклепывают к длинным узким пластинкам из нейзильбера или мельхиора толщиной 0,3—0,5 *мм*, называемые контактными пружинами. Один контакт делают обычно плоским (тарелочка), а другой — коническим (треугольник).

Допускаемая разрывная мощность на плоскоконические контакты телефонных реле не превосходит 20—25 *вт* (ватт). Нагрузка больше чем 30 *вт* может вызвать обгорание и спекание контактов. Сопротивление контактных поверхностей

обычно составляет около 0,001 *ом*, а при повреждениях оно возрастает до нескольких сот *ом*.

Для большей надежности контакты должны прижиматься друг к другу с некоторой силой (контактное давление). Эту силу можно изменять изгибанием контактных пружин, например посредством пинцета. В хорошо работающих телефонных реле контактное давление бывает в пределах от 15 до 40 *г* (граммов). Расстояние между контактами, когда они разомкнуты, должно равняться 0,25—0,5 *мм*. Если это расстояние меньше 0,25 *мм*, при размыкании контакты сильно искрят. Расстояние между якорем реле и сердечником (ход якоря) может меняться от 0,5 до 1,2 *мм*.

Чтобы якорь не прилипал к сердечнику, т. е. не оставался притянутым к нему под действием остаточного магнетизма после выключения тока из обмотки реле, к якорю со стороны сердечника приклепывают маленький медный штифтик. Высота штифтика 0,1—0,3 *мм* не позволяет якорю плотно касаться сердечника.

Телефонные реле бывают обыкновенные, быстродействующие и замедленного действия.

После того, как по обмотке катушки электромагнитного реле пройдет ток, якорь притянется к сердечнику не сразу. Время притяжения якоря к сердечнику называется временем срабатывания реле; оно зависит от величины хода якоря, скорости нарастания тока в обмотке катушки, давления контактных пружин и силы оттягивающей спиральной пружины. Для обыкновенного телефонного реле это время равняется 0,01—0,02 сек.

Быстродействующее реле должно очень быстро притягивать свой якорь и по прекращении тока очень быстро его отпускать. Конструкция этих реле отличается от обыкновенных телефонных реле. Время срабатывания их около 0,001 сек.

Телефонные реле замедленного действия бывают двух типов. Один тип реле медленно притягивает якорь, а другой — медленно отпускает его. Реле замедленного притяжения притягивает якорь в течение 0,1—0,15 сек., а реле замедленного отпускания выключают якорь с замедлением 0,2—0,3 сек.

Кодовые электромагнитные реле устроены почти так же, как и телефонные, но только они конструктивно грубее и менее чувствительны, чем телефонные реле.

Блокировочный конденсатор, как уже указывалось выше, необходим для устойчивой работы телефонного реле. Чем больше будет емкость конденсатора, тем лучше. Однако, при очень большой емкости — больше 2 *мкф* (микрофарад) — увеличатся габаритные размеры фотореле. Электролитические конденса-

торы по размерам меньше бумажных при той же емкости. Электролитический конденсатор емкостью в 2 *мкф* удовлетворяет требованиям схемы.

Электролитические конденсаторы бывают высоковольтными и низковольтными. Высоковольтные конденсаторы рассчитаны на рабочее напряжение 250—450 *в*, низковольтные — на 12—40 *в*. Для целей блокировки необходимы высоковольтные конденсаторы. По своей конструкции электролитические конденсаторы также различны. Бывают конденсаторы в алюминиевых корпусах (цилиндриках) с изолированным выводом на верхнем торце. Этот вывод является положительным полюсом конденсатора, а алюминиевый корпус служит минусом. Конденсаторы в картонных корпусах обычно низковольтные, на рабочее напряжение 15 *в* постоянного тока. При напряжении свыше 20 *в* эти конденсаторы уже пробиваются. Они не пригодны для целей блокировки.

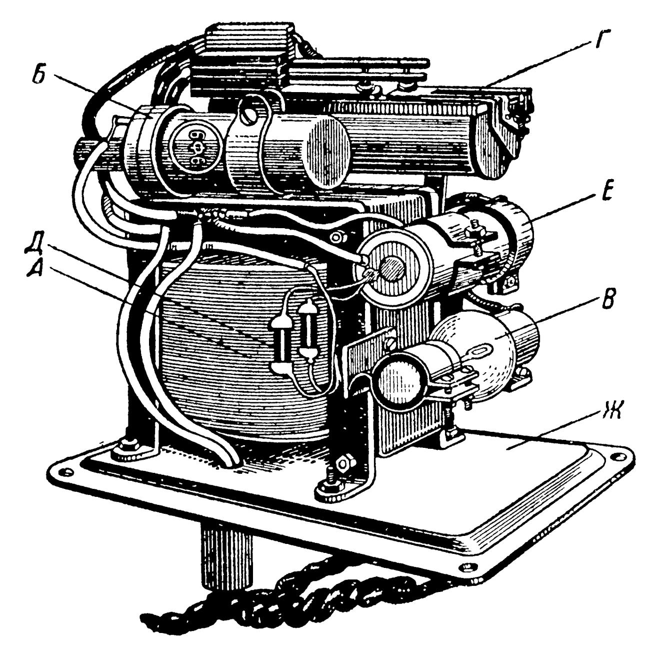
Высокоомное сопротивление необходимо для того, чтобы, пользуясь слабым током фотоэлемента, получить сравнительно большое падение напряжения для управления сеткой усилительной лампы 6Ф6. В описываемом фотореле сопротивление должно быть величиной 40—60 или даже в 80 *мгом* (мегом). Таких высокоомных сопротивлений в продаже нет. Поэтому нужно взять два сопротивления типа «лилипут» по 5 *мгом* каждое. Соскоблив бо́льшую часть их поверхности так, чтобы осталась лишь узенькая полоска, шириной в 2—3 *м*, надо соединить сопротивления последовательно. Тогда в сумме получится 60—80 *мгом*. Соскабливать токопроводящий слой, нанесенный на поверхности изолирующего цилиндрика, нужно осторожно. Очень важно, чтобы оставшиеся после соскабливания полоски токопроводящего материала нигде не были прерваны, иначе ток через высокоомные сопротивления не пойдет и фотореле не будет работать. Соскабливать лучше всего напильником с мелкой насечкой или кусочком карборунда.

3. МЕХАНИЧЕСКИЙ МОНТАЖ ФОТОРЕЛЕ

Фотореле нужно смонтировать так, чтобы оно имело наименьшие габаритные размеры. Поэтому описываемый способ монтажа не похож на принятый в обыкновенных радиоустройствах.

В широковещательных радиоприемниках и в других радиоустройствах электролитические конденсаторы и усилительные лампы обычно располагаются вертикально. В описываемом фотореле они расположены, как это видно из фиг. 16, горизонтально.

Все детали фотореле: усилительная радиолампа, электролитический блокировочный конденсатор, электромагнитное телефонное реле и фотоэлемент, крепятся не на панели, а к трансформатору посредством угольников, скобок, хомутиков и кронштейнов. Трансформатор привинчен к стальной панели, которая является основанием фотореле. Ламповых панелек



Фиг. 16. Общий вид самодельного фотореле со снятым кожухом.

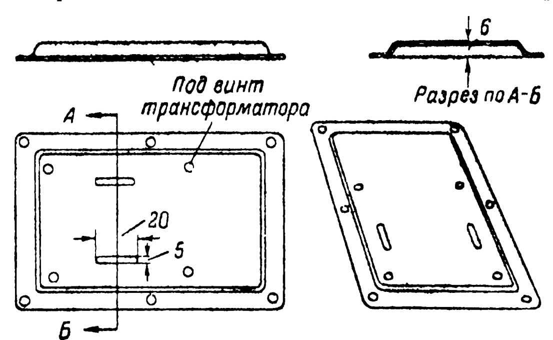
А — трансформатор; *Б* — радиолампа 6Ф6; *В* — фотоэлемент ЦГ-3; *Д* — высокоомные сопротивления; *Е* — электролитический конденсатор емкостью 2 *мкф*; *Ж* — панель фотореле.

применять не нужно. Провода припаиваются прямо к штырькам усилительной радиолампы. Это делается для того, чтобы при тряске не нарушался контакт, что часто бывает, когда штырьки радиолампы вставлены в ламповую панельку.

Для уменьшения нагревания светочувствительного слоя фотоэлемент должен быть удален от усилительной радиолампы на возможно большее расстояние и расположен внизу, ниже всех других деталей.

Из листовой стали толщиной 0,5—0,75 *мм* вырезаются прямоугольные пластинки. Это будет основание фотореле. Его

размер будет зависеть от примененного типа трансформатора. Ударами молотка по пластинке ей придают форму, изображенную на фиг. 17. При терпении и настойчивости это сделать нетрудно. В результате получится вогнутая часть пластинки в середине и прямые бортики по краям. В вогнутой части основания пробивают или просверливают четыре отверстия для крепления трансформатора и делают две прорези шириной по 5 *мм* для пропускания проводов. В бортах панели нужно просверлить шесть отверстий под винты крепления к



Фиг. 17. Основание фотореле (размеры в зависимости от примененного типа радиотрансформатора).

нижней части кожуха фотореле. О том, как крепить основание к кожуху, будет сказано ниже (стр. 49).

Трансформатор привинчивают к панели. Крепление всех деталей фотореле должно быть надежным и прочным. Если же во время работы детали разболтаются, то, сдвинувшись, они могут коснуться стального кожуха и дать соединение на корпус или вызвать короткое замыкание. После того, как трансформатор привинчен к панели, нужно укрепить на нем все детали.

Сначала изготовляют скобку для крепления телефонного реле и радиолампы. Эту скобку вырезают из пластинки алюминия толщиной 1,5 *мм* такой формы, как это указано на фиг. 18. Далее на пластинке делают по пунктирным линиям надрезы и изгибают ее так, чтобы получилась фигурная скобка, показанная на фигуре. Загнутыми уголками эту скобку крепят под гайки винтов, сжимающих пластины трансформатора.

В отверстие угольника фигурной скобки вставляют конец сердечника катушки телефонного реле и завинчивают гайкой

с контргайкой. На горизонтальную часть скобки кладут усилительную радиолампу так, чтобы ее охватывал хомутик. Ушки скобки стягивают винтом с гайкой.

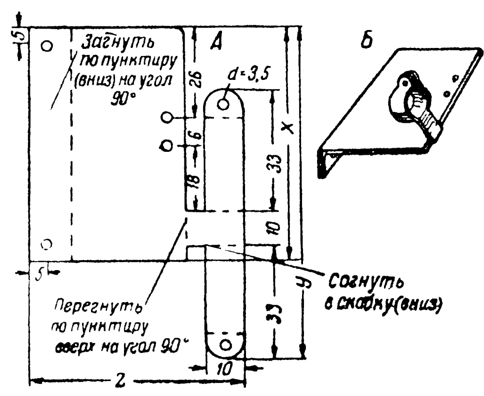
После закрепления трансформатора, усилительной лампы и телефонного реле остается укрепить электролитический конденсатор и фотоэлемент.

Из пластинки алюминия, латуни или стали толщиной 1—1,5 *мм* вырезают пластинку такой формы, как указано на фиг. 19,*А*. Затем по пунктирным линиям делают надрезы и пластинку изгибают так, чтобы получился кронштейн (фигурная лапа), показанный на фиг. 19,*Б*. Лапу устанавливают вертикально, а ее загнутый конец укрепляют под винты трансформатора (справа). В хомутик верхней части вставляют электролитический конденсатор и хомутик стягивают винтом. Между корпусом электролитического конденсатора и хомутиком предварительно нужно проложить изоляционную ленту или кусочек лакоткани, чтобы не было электрического соединения корпуса конденсатора с другими деталями.

Фиг. 18. Скоба для крепления телефонного реле и радиолампы.

А — заготовка; *Б* — согнутая скоба (размеры A_1 и A_2 в зависимости от применениого типа трансформатора).

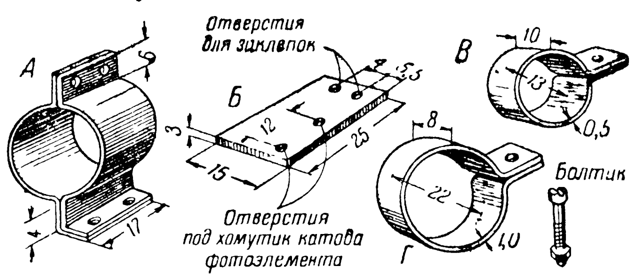
На лапу крепления конденсатора устанавливают хомутик для крепления катода фотоэлемента. Этот хомутик тоже надо изолировать от корпуса и от других деталей. На расстоянии примерно



Фиг. 19. Кронштейн для крепления конденсатора и фотоэлемента.

А — развертка; *Б* — в готовом виде (размеры *X*, *Y*, *Z* в зависимости от примененного радиотрансформатора).

25 *мм* от верхнего края лампы просверливают отверстие диаметром 2,0—2,5 *мм*, а рядом с ним — другое. Заклепками из алюминиевой или мягкой медной проволоки приклепывают к этим отверстиям пластинку (фиг. 20,*Б*) из какого-нибудь изолирующего материала (текстолита, эбонита или дерева, пропитанного расплавленным парафином). Размеры изолирующей пластинки должны быть примерно 25×15×3 *мм*. К этой пластинке двумя винтами укрепляют хомутик для крепления катода фотоэлемента. Хомутик



Фиг. 20. Крепежные детали.

А — хомутик для катода фотоэлемента; *Б* — изолирующая пластинка; *В* — хомутик для анода фотоэлемента; *Г* — хомутик для крепления конденсатора.

(фиг. 20,*А*) делают из кусочка тонкой латуни, так чтобы он охватывал катод фотоэлемента.

Винты, которые крепят хомутик к изолирующей пластинке, одновременно являются и стягивающими винтами. Хомутик должен крепко зажимать катод фотоэлемента для получения хорошего контакта.

На анод фотоэлемента надевают другой хомутик (фиг. 20,*В*), но он не крепится к лапе и сидит только на аноде. Для получения надежного контакта его также зажимают винтом с гайкой. При электромонтаже к нему будет припаян провод. Такой же формы хомутик (фиг. 20,*Г*) надевают на электролитический конденсатор. Это будет минус конденсатора. Высокоомные сопротивления устанавливают при электрическом монтаже фотореле.

4. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ МОНТАЖ ФОТОРЕЛЕ

Когда все детали фотореле укреплены, производят электрический монтаж. Электромонтаж желательно производить голым медным проводом, которым монтируют радиоприемники. На провода нужно надеть изолирующие трубочки. Если имеется провод с хлорвиниловой изоляцией, то изолирую-

щие трубочки не потребуются. Пайку проводов нужно производить оловом с канифолью, без кислоты.

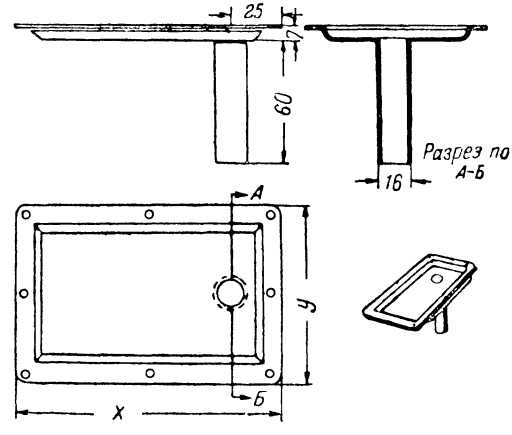
Электромонтаж производят по схеме, приведенной на фиг. 15.

Все шесть выводных концов проводов пропускают через прорези основания (по три провода в каждой прорези) наружу.

5. КОЖУХ ФОТОРЕЛЕ

Кожух фотореле состоит из дна и крышки.

Дно кожуха (фиг. 21) вырезают из такой же пластинки, как и основание фотореле, и точно так же обрабатывают. Ударами молотка пластинку удлиняют на 2—3 *мм* и в ней вырезают круглое отверстие диаметром в 15—16 *мм*. В это отверстие впаивают металлическую трубку длиной в 50—60 *мм*. В трубку пропускают все шесть проводов, идущих от фотореле во внешние цепи (питания, осветителя и исполнительных механизмов).

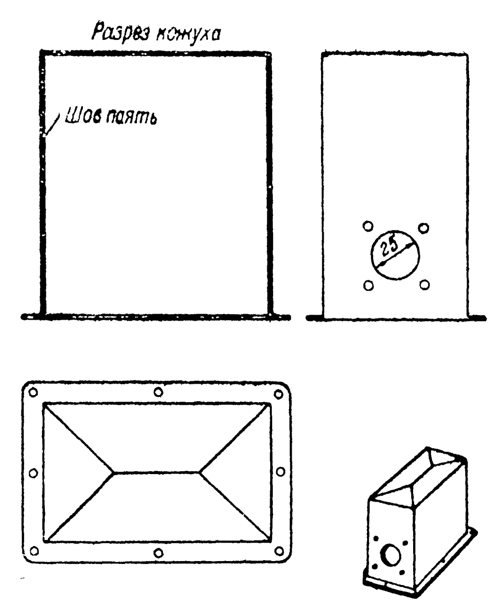


Фиг. 21. Дно кожуха (размеры *X* и *Y* в соответствии с выбранным типом радиотрансформатора).

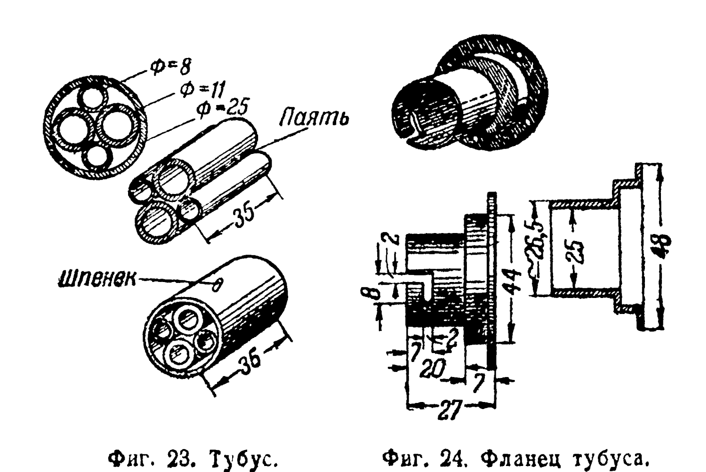
Крышку кожуха (фиг. 22) вырезают из тонкой листовой стали, сгибают и затем спаивают по швам.

В одной из боковых стенок крышки кожуха прорезают отверстие для пропускания лучей света, падающих от осветителя на катод фотоэлемента. Диаметр этого отверстия 25 *мм*. Фотоэлемент в хомутике должен быть установлен так, чтобы его светочувствительный слой был направлен в сторону этого отверстия.

Чтобы на фотоэлемент не попадал боковой свет, делают тубус (фиг. 23). Для этого берут стальную трубку длиной 35 *мм* и диаметром 25 *мм* и внутрь ее вставляют еще четыре трубочки меньшего диаметра. Затем все трубки припаивают



Фиг. 22. Крышка кожуха (размеры в соответствии с выбранным типом радиотрансформатора).

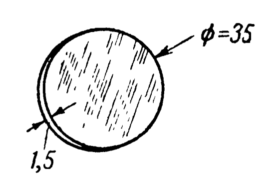


Фиг. 23. Тубус.

Фиг. 24. Фланец тубуса.

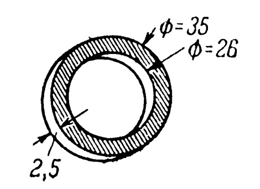
друг к другу так, чтобы они не шатались и чтобы оси всех трубок были строго параллельны друг другу. Изнутри трубки нужно покрыть черной матовой краской. Все посторонние лучи света будут гаситься в этих трубках, поглощаясь их внутренними поверхностями, и на фотоэлемент будет попадать только луч света от осветителя.

Чтобы прикрепить тубус к кожуху фотореле, необходимо сделать для него фланец. Фланец спаивают из двух стальных шайб разного диаметра (фиг. 24), кольца и отрезка стальной трубки. В большой шайбе просверливают четыре отверстия. Точно такие же отверстия просверливают в кожухе и винтами прикрепляют к нему фланец. Перед тем, как это сделать, кладут между кожухом и фланцем стеклянный кружок (фиг. 25). Он будет предохранять фотореле от попадания внутрь кожуха пыли, грязи и т. д. Этот кружок легко вырезать из тонкого стекла обычными ножницами. Резать стекло ножницами надо под водой, иначе (на воздухе) это сделать не удастся. Еще лучше вместо простого стекла вставить линзу. Если линза подобрана правильно, так, что ее фокус приходится в центре колбочки фотоэлемента, она будет концентрировать на катоде фотоэлемента лучи света, попадающие через тубус.



Фиг. 25. Стеклянный кружок.

На стеклянный кружок (или на линзу) с двух сторон накладывают по резиновому кольцу (фиг. 26), и уже потом привинчивают фланец тубуса к кожуху. Чтобы тубус не выпадал из фланца, можно сделать специальный замок. Для этого в трубке фланца делают прорезь, как показано на фиг. 24, а на тубус припаивают шпильку. Когда тубус вставлен в трубку фланца, шпилька тубуса войдет в прорезь по упора. После этого повертывают тубус вправо до другого упора. Теперь для того, чтобы вынуть тубус из фланца, нужно сделать два движения: повернуть его влево и потянуть на себя. От тряски тубус уже не выскочит из фланца и будет сидеть в нем достаточно плотно.



Фиг. 26. Резиновое кольцо (прокладка).

В бортиках крышки кожуха просверливают шесть отверстий для крепления ее ко дну кожуха. Крышку кожуха надевают только после регулировки фотореле.

Следует заметить, что если фотореле предназначается для

длительной работы в сухих и незапыленных помещениях, то во избежание излишнего перегревания фотоэлемента, лучше делать кожух фотореле с естественной вентиляцией.

Для этого в нескольких местах кожуха делают прорези. Фотоэлемент можно поместить в отдельный светонепроницаемый футляр-коробочку, склеенную из черной бумаги, в которую обычно завертывают фотопластинки. Если фотоэлемент выносится из кожуха, то коробочку можно сделать из фанеры или спаять из жести.

6. ОСВЕТИТЕЛЬ

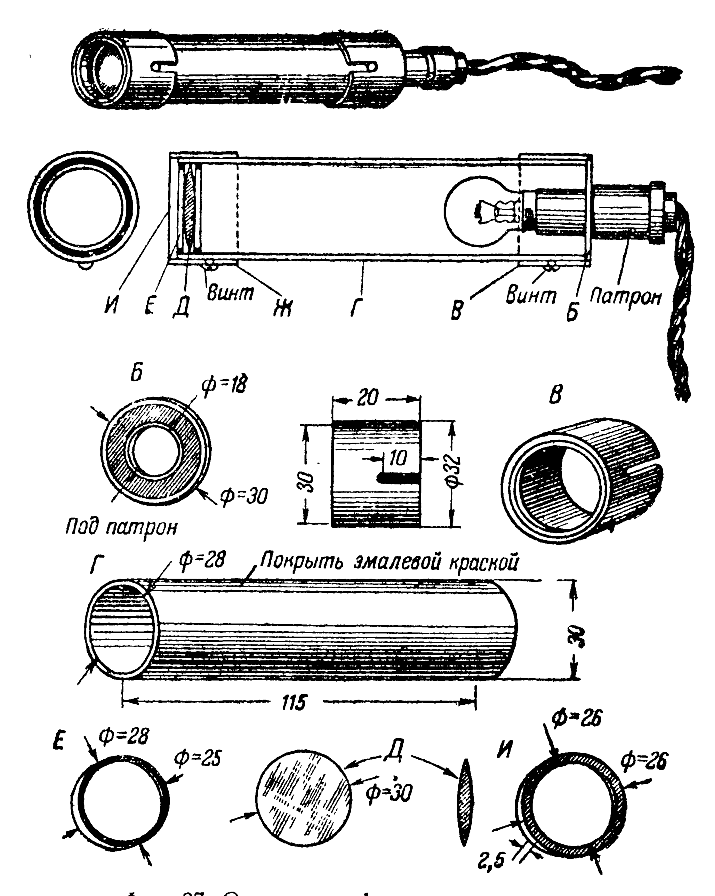
На небольших расстояниях фотореле прекрасно работает от самого простого осветителя (фиг. 27). Можно взять 4-вольтовую электрическую лампочку от кинопроектора. Такая лампочка имеет почти точечную нить накаливания, что крайне важно для хорошей работы осветителя. Однако этот тип электрических лампочек имеет цоколь автомобильного типа и требует специального патрона.

«Автомобильный» патрон впаивают в шайбу *Б*, а ее, в свою очередь, впаивают в отрезок стальной трубки диаметром 30—35 *мм* и длиной 20—25 *мм*. Это будет основание осветителя. Вдоль этого отрезка трубки делается прорезь-канавка, которая будет нужна для регулировки осветителя.

Затем подбирают кусок стальной трубки (фиг. 27,*Г*) длиной около 115—120 *мм* и такого диаметра, чтобы одним своим концом она с небольшим трением входила в отрезок основания. Внутреннюю поверхность трубки для лучшего отражения световых лучей лампочки накаливания окрашивают белой эмалевой краской. После этого нужно заделать в трубку стеклянную линзу *Д* для собирания световых лучей лампочки (фиг. 27,*Д*).

Линзу можно купить в любом оптическом магазине или в аптеке, но ее надо правильно выбрать. Если направить линзу на удаленный источник света, то на некотором расстоянии от линзы образуется световая точка. Это будет фокус линзы. В фокусе линзы концентрируются световые лучи источника света. Для описываемого осветителя нужно выбрать линзу с фокусным расстоянием в 50—60 *мм*. Длина трубки осветителя будет определяться фокусным расстоянием линзы.

В конце трубки осветителя впаивают латунное кольцо (фиг. 27,*Е*). Линзу вставляют внутрь трубки так, чтобы ее края лежали на этом кольце. После установки линзы туго вставляют еще одно такое же кольцо, которое зажмет линзу и не даст ей возможности шататься в трубке.



Фиг. 27. Осветитель фотореле и его детали.

Б — шайба под патрон; *В* — основание осветителя; *Г* — корпус осветителя; *Д* — линза осветителя; *Е* — латунное кольцо; *Ж* — насадка; *И* — железное кольцо.

Осветитель нужно отрегулировать так, чтобы нить накала лампы находилась в фокусе линзы. Это достигается передвижением основания осветителя относительно его корпуса. Передвигая основание вместе со вставленной в патрон лампочкой, добиваются того, чтобы расстояние от линзы до нити накала лампочки точно равнялось фокусному расстоянию линзы. После этого плотно завинчивают винт, крепящий основание к корпусу. В корпусе для винта надо просверлить отверстие и нарезать резьбу.

Чтобы предохранить линзу от внешних механических повреждений на нее надевают насадку (фиг. 27,*Ж*), которую можно сделать из такого же отрезка стальной трубки, как и основание. Насадка также должна иметь прорезь для закрепления винтом. В конец насадки можно вделать тончайшую пластинку эбонита, если фотореле предназначается для работы на невидимых инфракрасных лучах, а чтобы эта пластинка не выскакивала, на конец насадки напаивают стальное кольцо (фиг. 27,*И*).

Патрон осветителя заряжается проводом или шнуром для подводки тока от трансформатора фотореле к лампочке. Теперь остается только покрыть снаружи осветитель масляной или эмалевой краской темного цвета, и его можно считать готовым.

Само собой разумеется, что можно придумать и другие конструкции осветителей для фотореле. Например, вместо стальной трубки можно взять картонную, хорошо проклеенную столярным клеем. Вместо линзы можно взять дешевое стекло от очков (+8 или +10 диоптрий). Можно также приспособить алоскоп или даже карманный фонарь. Но всегда следует учитывать, что пучок лучей, идущих от осветителя на фотореле, должен быть по возможности параллельным. Расходящиеся лучи не дадут требуемой для фотоэлемента концентрации световой энергии.

Совсем не обязательно осуществлять питание лампочки осветителя от трансформатора фотореле. Можно приспособить для этого и отдельный трансформатор. Не обязательно также для осветителя употреблять точечную 4-вольтовую лампочку от кинопроектора.

В некоторых описываемых здесь опытах с фотореле мощность светового потока от такой лампочки будет недостаточна. В этих случаях можно применять автомобильные лампочки мощностью в 25—30 *вт*. Для некоторых опытов с большой дистанцией (расстоянием) между осветителем и фотореле (телеграф и телефон на невидимых инфракрасных лучах) и этой лампочки может оказаться недостаточно. Осветитель в подобных случаях тоже придется брать другой конструкции — с параболическим рефлектором типа прожекторного или автомобильной фары.

7. РЕГУЛИРОВКА ФОТОРЕЛЕ

После электромонтажа фотореле его нужно отрегулировать, т. е. установить отдельные составные части электрической схемы в требуемых соотношениях и произвести подбор фазы вторичной обмотки трансформатора.

Регулировке подвергается электромагнитное телефонное реле, включенное в анодную цепь усилительной лампы и высокоомное сопротивление нагрузки фотоэлемента.

Для этого вынимают фотоэлемент из крепящих его хомутиков и включают фотореле в осветительную сеть переменного тока. Через 1—2 минуты, когда нить усилительной радиолампы прогреется, замыкают накоротко хомутики для крепления фотоэлемента. Короткое замыкание цепи фотоэлемента вызовет непосредственную подачу отрицательного потенциала на сетку усилительной лампы. При этом электромагнитное реле не должно притягивать свой якорь. Если же якорь реле притягивается, это значит, что фаза подобрана неправильно, т. е. на анод и на сетку одновременно подается положительная полуволна переменного тока.

Для того, чтобы на сетку лампы подавался минус, когда на аноде плюс (и наоборот), необходимо произвести переключение фаз, т. е. поменять местами концы проводов от сетевой обмотки (провода *А* и *Б* на схеме фиг. 15). Когда фазы подобраны правильно, электромагнитное реле при отсутствии фотоэлемента и при замкнутых накоротко хомутиках не будет притягивать свой якорь.

После подбора концов обмотки трансформатора в хомутики вставляют фотоэлемент и закрывают от света непрозрачным материалом, например кусочком плотной материи (лучше всего черного бархата). При этом реле должно немедленно притянуть свой якорь. Затем в анодную цепь усилительной лампы последовательно с электромагнитным реле включают миллиамперметр со шкалой до 50 *ма*. Миллиамперметр должен показать ток около 10—12 *ма*. Это будет ток срабатывания телефонного реле, обмотка которого должна иметь сопротивление около 8 000 *ом*.

Если показание прибора превышает 10—12 *ма*, фотореле надо выключить и, отпаяв нагрузочное сопротивление, кусочком карборунда или напильником снять с нагрузочного сопротивления часть его рабочей поверхности. Снимать слой проводящего состава сопротивления нужно весьма аккуратно, оголяя его до появления белого цвета. После этого вновь припаивают нагрузочное сопротивление, включают фотореле в осветительную сеть и снова проверяют величину анодного тока при затемненном фотоэлементе. Если она превышает 10—12 *ма*, это значит, что нужно опилить еще часть рабочей поверхности нагрузочного сопротивления.

Подготовка сопротивления нагрузки фотоэлемента заканчивается тогда, когда показания прибора будут не выше 10—

12 *ма*. После этого затемнение фотоэлемента снимают, и на его катод попадает обычный дневной свет. При этом показания миллиамперметра должны быть минимальными. Практически стрелка прибора станет на нуль. Тогда выключают измерительный прибор и восстанавливают анодную цепь согласно схемы.

Регулировка фотореле на этом заканчивается. Остается только надеть кожух, вставить во фланец тубус и включить осветитель. Фотореле в собранном виде показано на фиг. 28.

Осветитель включается к выводным концам фотореле и луч света от него направляется на тубус. Следует обратить внимание на то, что луч света должен быть направлен строго по оси тубуса, а не наклонно. Предварительно необходимо отрегулировать его на фокусное расстояние.

Для этого перед тубусом помещают лист белой бумаги, на котором должен спроектироваться ярко освещенный кружок. Передвигая основание лампы (фиг. 27, *Б*), следует добиться, чтобы диаметр кружка равнялся диаметру тубуса, т. е. чтобы лучи из осветителя шли параллельно друг другу. В этом положении нужно оставить основание лампы, туго завинтив винт, крепящий его к корпусу осветителя.

Если нужно, чтобы фотореле работало от невидимого инфракрасного света, в осветитель ставят фильтр. Фильтр проще всего сделать из очень тонкого листика эбонита. Эбонит будет задерживать видимые лучи света и пропускать только инфракрасные, не видимые человеческим глазом лучи. Эбонитовый диск вставляют в насадку осветителя и закрепляют винт оправки.

С эбонитовым фильтром толщиной 0,1 *мм* фотореле четко и безотказно работает на расстоянии 1,5 *м* от осветителя. При снятом фильтре это расстояние увеличивается до 5 *м*. Такой дальности действия вполне достаточно для большинства случаев применения самодельного фотореле.

Интересно проверить, как будет работать фотореле при понижении напряжения в сети переменного тока. Для этого фотореле устанавливают на расстоянии 1,5 *м* от осветителя. Затем снимают с осветителя эбонитовый фильтр, чтобы можно было наблюдать за силой светового потока лампочки.

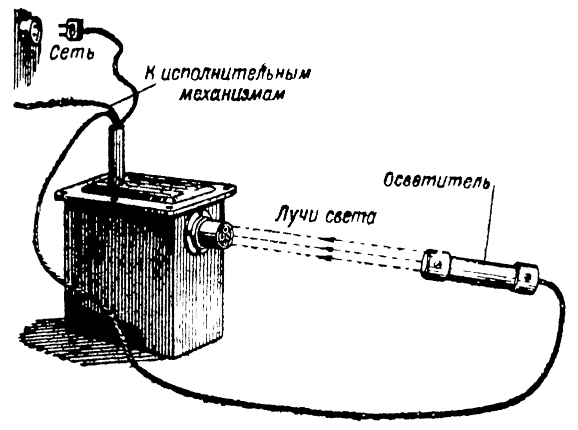
При опыте, расстояние в 1,5 *м* не должно меняться. Если реостатом понижать напряжение, питающее фотореле, то только при 65 *в* оно начинает работать неустойчиво. Разумеется, с понижением накального и анодного напряжения усилительной лампы одновременно уменьшается и сила света осветителя.

Несмотря на значительное уменьшение яркости лампочки

осветителя, которая вместо нормальных 4 *в* получает только 2,6 *в*, фотореле хотя и неустойчиво, но все же работает.

Обычно колебание напряжения в сети происходит в пределах 10%, описываемое же фотореле нормально работает при понижении напряжения на 25—30% и лишь при 35% начинает работать неустойчиво. Это значит, что фотореле имеет большой запас надежности действия по напряжению.

Нужно помнить, что если фотореле рассчитано на включение в сеть переменного тока напряжением в 110 *в*, то включение во всякую другую электрическую цепь, постоянного или



Фиг. 28. Внешний вид самодельного фотореле.

переменного тока, недопустимо. Это может привести к серьезным повреждениям фотореле.

Во всех случаях необходимо фотореле защищать предохранителями на 1 *а*. Это могут быть либо телефонные предохранители, либо просто очень тонкие проволочки, укрепленные на дощечке между двумя зажимами или винтами.

Осветитель всегда следует устанавливать так, чтобы его ось точно совпадала с осью тубуса фотореле (фиг. 28). Иначе фотореле работать не будет.

Хорошей работы фотореле можно добиться только при условии соблюдения элементарных требований чистоты. Тубус должен время от времени очищаться от пыли и грязи. Части фотореле и осветителя нужно прочищать мягкой тряпочкой, слегка смоченной нашатырным спиртом или бензином.

Фотореле должно быть защищено от сырости. Если помещение, где оно будет работать, сырое, то кожух надо сделать

влагонепроницаемым. Этого, впрочем, легко добиться, проложив резиновую прокладку и залив пространство между основанием (фиг. 16,Ж) и дном кожуха (фиг. 21), а также выходные отверстия проводов,— кабельной массой, озокеритом, парафином с воском или сургучом.

На исполнительные контакты самодельного фотореле можно нагружать следующие механизмы: электрические звонки, сигнальные лампочки, электромагнитные счетчики, небольшие электромоторчики (до 30 *вт*) и т. д. Однако каждый раз перед включением на исполнительные контакты или иной нагрузки необходимо помнить, что чрезмерный ток может вызвать спекание и сваривание контактов. Это может привести к полной непригодности контактов реле для дальнейшей работы.

У описываемого фотореле следующие преимущества по сравнению с другими типами: 1) большая чувствительность благодаря особой схеме включения нагрузочного сопротивления фотоэлемента; 2) большой срок службы радиолампы, питаемой пониженным напряжением (5,7 *в* вместо нормальных 6,3 *в*); 3) питание осветителя от сетевого трансформатора применяемого в радиоприемниках (это избавляет от необходимости устанавливать отдельный понижающий трансформатор для лампочки осветителя); 4) минимальные размеры фотореле благодаря применению самых маленьких деталей (фотоэлемент ЦГ-3, радиолампа 6Ф6, электролитический конденсатор и высокоомное сопротивление «лилипут»), а также благодаря особому способу механического монтажа этих деталей; 5) фотореле мало нагревается, потому что собрано по нетативной схеме и ток накала радиолампы понижен; 6) устойчивость работы при тряске, потому что лампы металлической серии (6Ф6 и др.) превосходно переносят тряску, толчки, удары и не дают при этом ложных срабатываний; 7) устойчивая работа фотореле при больших падениях напряжения в сети.

Эта конструкция фотореле в зависимости от условий применения может быть изменена. Например, фотоэлемент можно вынести из общего кожуха, соединив его хорошо изолированными проводами с остальными частями устройства.

При расстоянии фотоэлемента от усилителя не превышающем 1—2 *м*, фотореле работает достаточно устойчиво. При бо́льших расстояниях начинает сказываться емкость между проводами, что может привести к полной неработоспособности фотореле при питании его от сети переменного тока. В этом случае питание фотореле необходимо осуществлять либо через выпрямительное устройство, либо от электрических батарей или аккумуляторов.

Для некоторых опытов с самодельным фотореле может понадобиться миллиамперметр или гальванометр. Эти приборы можно включать в анодную цепь усилительной радиолампы вместо телефонного реле.

Измерительные приборы следует выбирать высокоомные, исходя из тех же соображений, по которым мы применяли телефонное реле с большим сопротивлением обмотки.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

НЕКОТОРЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ ФОТОРЕЛЕ

1. АВТОМАТИЧЕСКИЙ СЧЕТ ИЗДЕЛИЙ

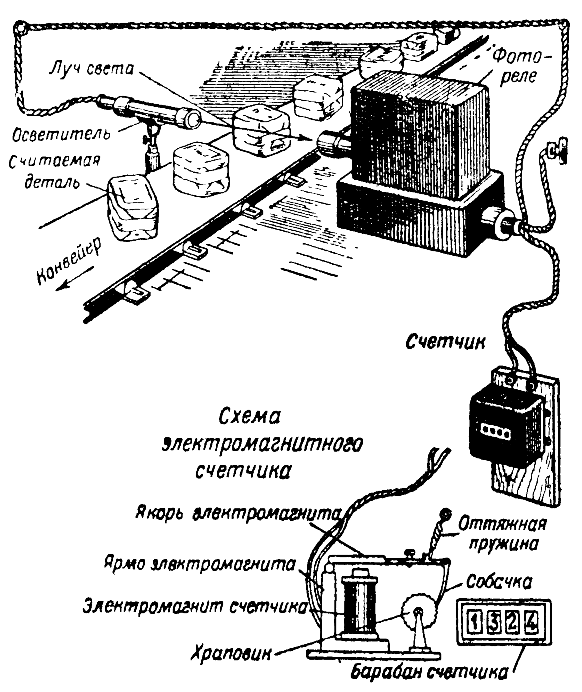
Фотореле можно использовать для автоматического подсчета изделий, проходящих по конвейеру. На-глаз трудно подсчитать число деталей, особенно если конвейер движется быстро. Фотореле же может безошибочно считать с очень большой скоростью. Тысяча деталей в одну минуту — для фотореле не предел.

Чтобы фотореле использовать для подсчета изделий, на его контакты надо включить электромагнитный счетчик. Осветитель следует установить по одну сторону конвейерной ленты, а фотореле — по другую. Тогда каждая деталь при своем движении будет пересекать луч света от осветителя и вызывать срабатывание фотореле. При каждом срабатывании фотореле электромагнитный счетчик будет получать импульс тока и передвигать считающий барабан на одно деление.

Электромагнитный счетчик устроен очень просто. Катушка электромагнита (фиг. 29) насажена на стальной сердечник. Когда предмет пересекает луч света, фотореле включает в катушку ток, сердечник намагничивается и притягивает пластинку стали — якорь. Левым концом якорь укреплен на верхней части железного угольника. К правому концу якоря прикрепляется изогнутая пластинка-собачка, прижимаемая пружинкой к зубцу храпового колеса.

Когда якорь притягивается к сердечнику, собачка надавливает на зубец храпового колеса и поворачивает его. Если храповое колесо имеет 24 зубца, то при каждом притягивании якоря оно поворачивается на $^1/_{24}$ часть окружности. От 24 импульсов тока храповик сделает полный оборот. Если к оси храповика приделать замедляющую зубчатую передачу или барабан от обычного квартирного электросчетчика, то можно считать десятки, сотни и тысячи проходящих по конвейеру изделий.

Электромагнитный счетчик (фиг. 30) нетрудно сделать самому.

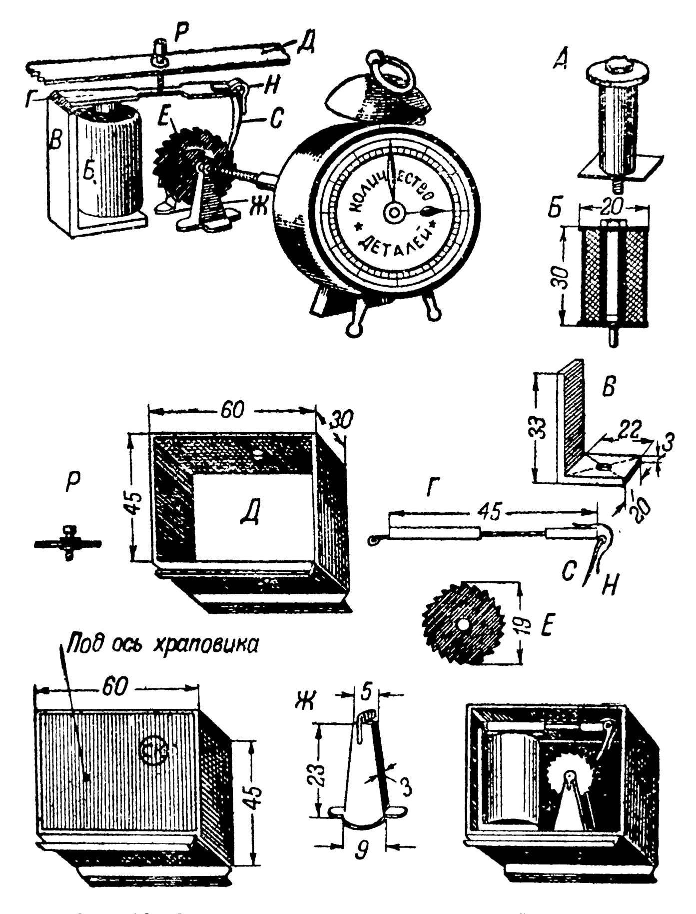


Фиг. 29. Фотоэлектронная установка для автоматического подсчета деталей, двигающихся по конвейеру.

Стальной болтик длиной около 35 *мм* на длине 30 *мм* от головки обертывают жестью так, чтобы его диаметр получился не менее 8 *мм*. Это будет сердечник электромагнита. На него наматывают два-три слоя бумаги. Под головку приклеивают круглую щеку диаметром в 20 *мм*, а внизу — квадратную щеку со стороной 20 *мм*. На получившуюся катушку аккуратно наматывают около 800 витков проволоки диаметром 0,25—0,30 *мм*.

Сердечник вставляют в отверстие ярма *В* электромагнита, которое можно согнуть из десяти сжатых в тисках и пропаянных по ребрам полосок отожженной жести.

Якорь *Г* также нужно спаять из нескольких слоев жести. С одной стороны припаивают к нему стальную проволочную спираль-подшипник, а с другой—П-образную проволоку—ось собачки. Собачку *С* сгибают из жести. К этому же концу якоря сверху припаивают свернутую из струны пружинку *Н*, которая будет прижимать собачку к храповому колесу.



Фиг. 30. Самодельный электромагнитный счетчик.

А — гильза; *Б* — катушка; *В* — ярмо; *Г* — якорь; *Д* — корпус; *Е*—храповик; *Ж* — стойка; *С* — собачка; *Р* — регулировочный винт; *СК*—стенка корпуса. Ось храповика соединяется с осью минутной стрелки будильника.

С ярмом якорь соединяется посредством П-образной проволоки, а чтобы он не двигался из стороны в сторону, по обе стороны его надевают по нескольку проволочных колец.

К ярму и якорю припаивают концы спиральной пружинки. Эта пружинка после выключения тока из обмотки электромагнита возвращает якорь обратно, до упорного регулировочного винта.

Корпус нужно сделать из полоски латуни шириной 30 *мм* На нижней стенке корпуса просверливают отверстия для креп-

ления электромагнита, а на верхней стенке — для регулировочного винта. Под отверстие для регулировочного винта припаивают гайку. Вторая гайка на регулировочном винте нужна для его закрепления.

Храповик *Е* делают так. Проводят циркулем на кусочке плотной бумаги окружность радиусом около 50 *мм* и делят ее на 24 части, затем проводят радиусы и окружности будущего храповика: наружную — диаметром 19 *мм* и внутреннюю — диаметром 17 *мм*. Затем карандашом прочерчивают зубцы. Чертеж храповика аккуратно обрезают ножницами и наклеивают его на ровный кусочек жести. Осторожно пропиливают зубья маленьким напильником (надфилем). В центре храповика нужно просверлить отверстие для оси (обрезка вязальной спицы).

Стойки *Ж* подшипника оси храповика выгибают из жести и припаивают к ним медные проволочные спирали. В них будет вращаться ось храпового колеса.

Нужно следить за тем, чтобы подшипники были точно одинаковые, иначе неизбежен перекос оси и ее будет «заедать».

После этого собирают в корпусе электромагнит с ярмом и якорем, припаивают одну из стоек с подшипником, надевают на ось храповое колесо и замечают его место: храповик должен оказаться как раз под серединой собачки якоря. Когда отмечено место, храповик припаивают к оси. Если храповик «не бьет», можно припаять стойку со вторым подшипником.

Один из концов оси храповика скрепляют с осью замедляющей зубчатой передачи (редуктор).

Редуктор можно собрать из старого будильника или часов «ходиков». Стрелка часов будет показывать на циферблате число изделий.

Может возникнуть вопрос: зачем для счета штучных изделий устанавливать фотореле? Не проще ли обойтись каким-нибудь механическим контактом, который прикасается к изделию при своем движении по конвейеру?

Для тяжелых изделий это, может быть, и имеет смысл, но для таких легких, как скажем, спичечные коробки, механический контакт неудобен. Слабое нажатие контакта, которое только и может быть при таких «нежных» изделиях, не годится. В этих случаях фотореле незаменимо. Фотоэлектрические счетчики особенно ценны также и в тех случаях, когда изделия по конвейеру движутся быстро или когда их нежелательно лишний раз трогать руками.

Фотоэлектрический счетчик может считать не только изделия на конвейере, но и людей, входящих в какое-нибудь по-

мещение. Его можно использовать, например, для счета посетителей музеев, выставок, магазинов и других общественных мест.

Такой счетчик был установлен на выставке в Политехническом музее в Москве. На одном косяке двери укреплен осветитель, на другом — фотореле и электромагнитный счетный механизм. Счетчик автоматически и совершенно точно подсчитывал число людей, проходящих через дверь, перегороженную лучом света.

2. АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ИЗДЕЛИЙ ПО ВЕСУ

Многие изделия на производстве контролируются по весу. Отклонение от нормы, выходящее за пределы допусков, дает брак.

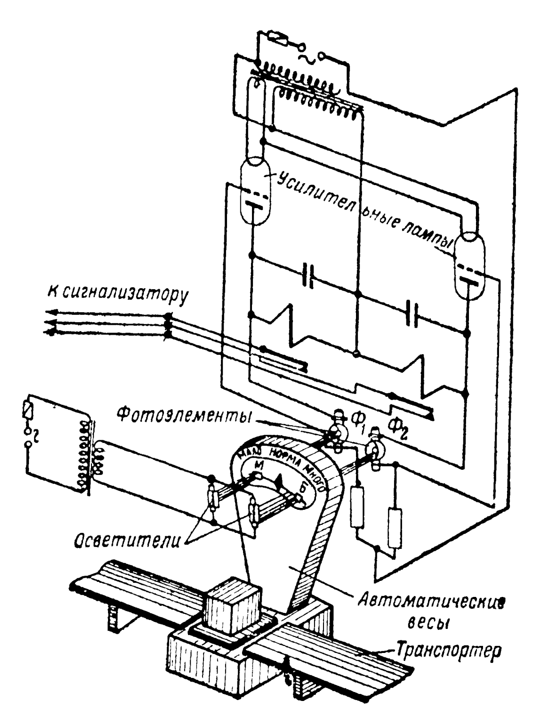
Предположим, например, что нормальный вес изделия 100 *г* (граммов) и что отклонение от этого веса допустимо лишь в пределах 0,5 *г* в обе стороны. Это значит, что если изделие весит 100+0,5 =100,5 *г* или 100—0,5 = 99,5 *г*, то оно еще считается годным. Изделия тяжелее 100,5 *г* или легче 99,5 *г* бракуются. В первом случае будет брак по избытку, а во втором — по недостатку веса.

Фотореле можно приспособить для автоматической разбраковки изделий по весу. Для этого с обратной стороны шкалы обычных стрелочных весов (фиг. 31) укрепляют два фотоэлемента, на некотором расстоянии друг от друга, и соединяют их проводами с усилительными лампами фотореле.

К стрелке весов прикрепляют кусочек непрозрачной бумаги, картона или фольги и направляют на шкалу лучи света от осветителей, которые через вырезанные в шкале отверстия попадут на фотоэлементы.

Если изделие имеет нормальный вес, то стрелка весов будет стоять на нуле и изделие пройдет по конвейеру дальше. Если же изделие весит больше или меньше нормы, то стрелка весов отклонится влево или вправо и перекроет тот или иной луч света. В результате срабатывает фотореле Ф-1 или Ф-2, и негодная деталь удаляется с конвейера электромагнитными сбрасывателями (на рисунке не показано). Одновременно включается звонковая или световая сигнализация, привлекающая внимание рабочего.

Чтобы не было ложных срабатываний фотореле в момент наложения на весы и сбрасывания с них контролируемых предметов, электрические цепи исполнительных механизмов должны в эти моменты автоматически размыкаться особым



Фиг. 31. Схема фотоэлектронных весов.

синхронизирующим приспособлением, связанным с движением конвейера.

Фотоэлектронными весами разбраковывают шарики для центробежных регуляторов и другие детали, вес которых должен быть очень точным.

В пищевой и вкусовой промышленности на фотоэлектронных весах можно взвешивать чай, кофе, какао и другие продукты.

Иногда вместо фотореле к стрелке весов приделывают обычные электрические контакты, замыкающие цепь сигнализации при отклонении веса от нормы. Но механические контакты очень ненадежны. Они часто окисляются, загрязняются и перестают работать. Дело в том, что для надежного действия стрелка весов должна надавливать на контакт. Контактное давление для нормальной работы должно быть не менее 10—15 *г*. При таком давлении стрелка весов может погнуться и точность измерения будет потеряна. Если же уменьшить контактное давление, то получится недостаточно четкая работа сигнализационого приспособления. Это обычно бывает при

механических контактах, если они слегка окислились или загрязнились.

Получается «заколдованный круг»: при уменьшении контактного давления получается неуверенная работа, а при увеличении его стрелка весов перегружается и может изогнуться, а это дает неверные измерения.

Невесомый луч света, который применен в описываемых фотоэлектронных весах, конечно, не изогнет стрелки, и точность весов нисколько не изменится.

3. ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

Фотоэлементы используются для разбраковки изделий по чистоте обработки их наружной поверхности.

Допустим, что по конвейеру передвигаются никелированные детали. На одних деталях никель лежит ровным блестящим слоем, а на других — тусклым и шероховатым. Фотореле тут незаменимо. Луч света падает на деталь, отражается и попадает в фотоэлемент. Если поверхность детали блестящая и ровная, отразится большее количество световой энергии, нежели в том случае, когда деталь тусклая и шероховатая. Значит, фототок в этих двух случаях будет различный: в первом случае больше, чем во втором.

В анодную цепь усилительной лампы фотоэлектронного автомата вместо реле включается гальванометр, градуированный на два предела: «брак» и «годно». При таком устройстве получается полуавтоматическая разбраковка. Фотореле лишь определяет пригодность детали. Забракованная же деталь удаляется с конвейера вручную. Однако этот процесс можно полностью автоматизировать. Для этого надо отрегулировать фотореле так, чтобы оно автоматически включало особый электромагнит, сбрасывающий бракованные изделия с конвейера.

Лаборатория одного (выпускающего эмалированную посуду) завода разработала методы испытания готовых изделий, основанные на применении фотореле. Белизна эмали определяется фотоэлектрическими приборами. Контроль готовой продукции с помощью этих приборов дает возможность значительно повысить качество эмалированной посуды.

Лаборатория автоматизации завода имени В. М. Молотова разработала оригинальный прибор «профилометр», оценивающий качество обработки поверхности по ее блеску. Чем лучше отделана поверхность детали, тем больше лучей света она отражает на фотоэлемент и тем большее число делений покажет стрелка гальванометра.

Для сравнительного производственного контроля профилометр предварительно настраивается по эталону с помощью диафрагмы. Если эталон выбран с нижним допустимым пределом качества поверхности, то все детали, дающие меньшие показания, чем эталон, бракуются, как имеющие неудовлетворительную поверхность.

По сравнению с существующими для этой цели приборами профилометр отличается простотой в обслуживании и большой скоростью производства измерений. Эти качества позволяют с успехом использовать его для инспекции деталей в цеховых отделах технического контроля.

Нашей шарикоподшипниковой промышленности очень нужны аппараты, которые могли бы определять чистоту полировки поверхностей колец. Обычно работница бракует кольца «на-глаз» при рассеянном свете молочной электрической лампы. Зрение браковщика к концу дня притупляется, и часто кольца, имеющие брак, не бракуются.

В СССР построен прибор для оценки полированных поверхностей шариковых и роликовых подшипников.

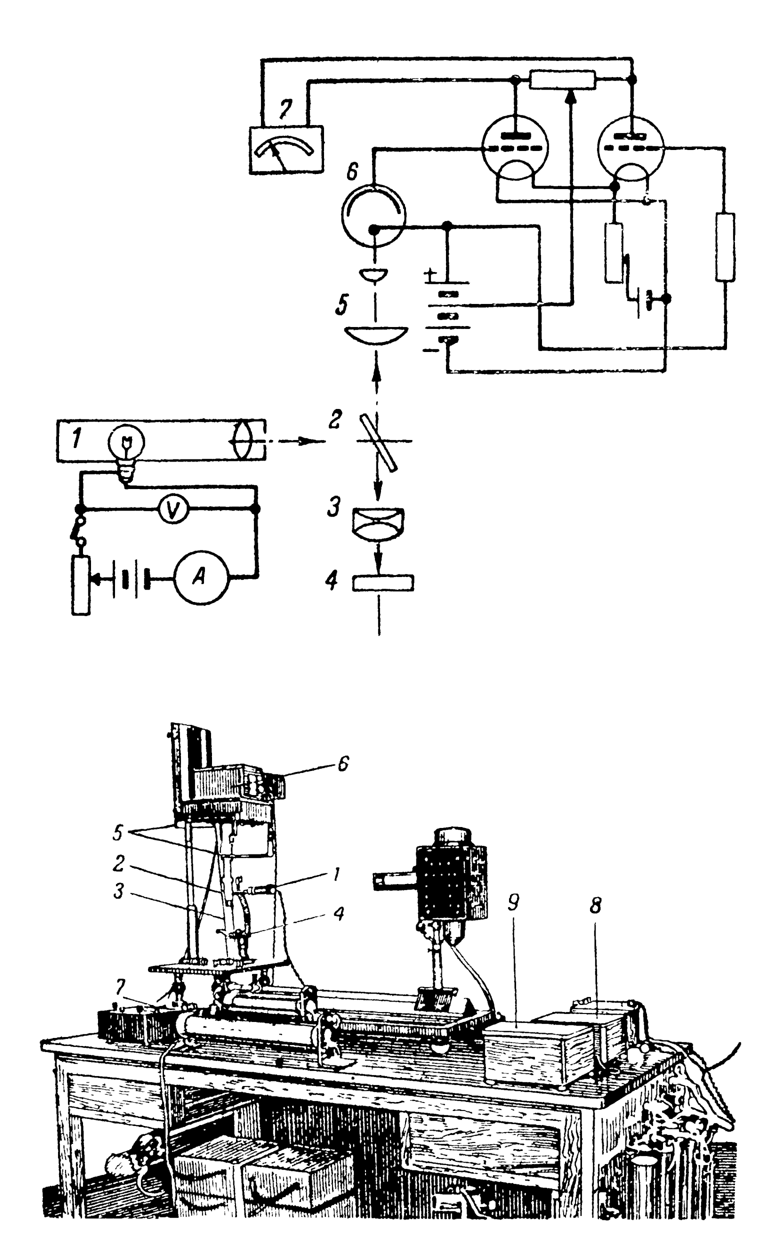
Прибор (см. схему на фиг. 32) состоит из осветителя *1*, металломикроскопа *3* и усилителя с гальванометром *7*.

В осветителе помещается источник света — автолампа, а металломикроскопом служит обыкновенный микроскоп, имеющий внутри плоско-параллельную стеклянную пластинку *2*. Основной частью прибора является фотоэлемент *6* с усилителем.

Пучок света, выйдя из осветителя *1*, преломляется сквозь поставленную под углом плоско-параллельную пластинку *2* и через объектив *3* микроскопа попадает на объект исследования *4*. Затем пучок света, отразившись от полированной поверхности объекта, идет обратно, проходит сквозь ту же плоско-параллельную пластинку и попадает в окуляр *5* микроскопа. Из окуляра свет попадает на фотоэлемент *6* и вызывает в нем фототок, соответствующий силе падающего света. Усиленный фототок проходит через гальванометр *7* и отклоняет стрелку.

Сравнивая показания гальванометра при оценке идеально полированной поверхности с показаниями исследуемых поверхностей, можно судить о чистоте полировки.

Разница в показаниях гальванометра объясняется тем, что идеально полированная поверхность дает полное отражение падающего на нее света, а при плохой полировке часть света рассеивается неровностями поверхности и не попадает на фотоэлемент. Чем чище исследуемая поверхность, тем больше отклоняется стрелка гальванометра, и наоборот.



Фиг. 32. Схема и общий вид установки для объективного контроля изделий.

Этот метод применим в любой отрасли промышленности, имеющей дело с полировкой поверхностей.

Человеческий глаз способен различать всего лишь 10 000 оттенков цвета. Правда, это не так уж мало.

Если попытаться перечислить все известные оттенки цвета, то вряд ли их наберется больше сотни: розовый, темнорозовый, красный, оранжевый, светлооранжевый, темножелтый, темносиний, лиловый и т. д.

На самом же деле, если учесть все возможные оттенки, различаемые нашим глазом, то можно набрать не только сотню, но и все 10 000 оттенков. Это чрезвычайно много.

Но оказывается электрический глаз — фотоэлемент — способен различать еще большее число оттенков, перекрывая во много раз гамму цветов, воспринимаемых человеком.

Вот два образца красного шелка, отрезанные от разных кип материала. Рассматривая их при дневном свете, вечером, при искусственном освещении,— не замечают никакой разницы.

Оба кусочка материи на-глаз покажутся абсолютно одинаковыми. Но электрический глаз заметит между ними разницу и просигнализирует об этом.

До двух миллионов оттенков цвета способны различать некоторые типы фотоэлементов. Эта цифра на много превышает те потребности в определении тончайших оттенков цвета, которые встречаются в жизненной практике.

Незаменимы фотоэлементы, реагирующие на оттенки цвета в отраслях промышленности, изготовляющих краски, цветные чернила, тушь и т. д. Способность фотоэлемента различать цвета используется также во многих других отраслях промышленности.

Электрический глаз может сортировать пищевые продукты, качество которых часто связано с их цветом. Так, например, фотоэлемент автоматически разбраковывает яйца по цвету, отбирая отдельно желтые и белые, сортируют апельсины и лимоны, отличая спелые желтые плоды от незрелых, зеленых.

В пищевой промышленности существуют автоматические машины для разбраковки по цвету кофейных бобов. Хорошо прожаренные бобы проходят беспрепятственно по конвейеру и ссыпаются в соответствующую тару. Пережаренные бобы, которые могут дать кофе плохого качества, проходя перед фотоэлементом отражают меньшее количество света, чем полноценные. Фотоэлемент приводит в действие металлический палец, который отбрасывает негодные зерна в специальный жолоб. Другой фотоэлемент такую же операцию производит

с плохопрожаренными зернами, направляя их через другой жолоб, обратно в печь, на доработку.

С таким же успехом фотоэлемент проверяет качество муки, определяя содержащийся в ней процент отрубей.

Электрический глаз контролирует качество питьевой воды в городской водопроводной сети, обнаруживая в ней те или иные примеси.

Разработан аппарат, автоматически определяющий процент содержания гемоглобина в крови больных, путем анализа пучка световых лучей, пропущенных через исследуемую кровь. Этот способ гораздо более точен, чем все существующие до сего времени методы определения гемоглобина в крови, и позволяет производить анализ весьма быстро, увеличивая производительность труда сотрудников аналитических лабораторий.

Следует иметь в виду, что для подобного рода измерений простые схемы усиления фототоков не могут быть использованы. Для оценки не различимых на-глаз по цвету предметов и вообще для исследований в области точной фотоколориметрии и фотоэлектрической спектрофотометрии веществ, близких между собой по спектральным свойствам, употребляются гораздо более сложные схемы фотоэлектронной аппаратуры.

4. АВТОМАТИЧЕСКИЙ СИГНАЛИЗАТОР УРОВНЯ

Можно проделать такой интересный опыт.

Берут большую стеклянную банку с отверстием в дне, закрытым пробкой. С одной стороны банки помещают осветитель, а с другой — фотореле. Когда банка пуста, луч света проходит через обе ее стенки и через воздух, находящийся внутри банки. Так как стенки и воздух прозрачны, то фотореле держит свои контакты разомкнутыми и сигнальная лампочка не горит. Наливают в банку подкрашенной (например, чернилами) воды. Если наливают воды столько, что ею будет перекрыт луч света, то фотореле срабатывает и замкнет контакты, — сигнальная лампочка вспыхнет.

Затем открывают отверстие в дне банки. Вода будет постепенно вытекать, а уровень жидкости падать. Когда он понизится настолько, что откроет доступ лучу света от осветителя на фотоэлемент, фотореле опять выключит сигнализацию.

Вместо подкрашенной воды можно взять любое другое непрозрачное для света вещество: песок, соль, муку, зерно, уголь и т. д. Каждый раз при понижении уровня до границы прохождения луча света будет включаться сигнализация

(лампочка или электрический звонок). Это устройство применимо на любом производстве, в энергетическом хозяйстве, в химической и горнорудной промышленности.

Кроме звуковой или световой сигнализации, автоматически пускаются в ход моторы насосов, накачивающих жидкость в резервуар при его опорожнении, или специальные конвейеры для насыпки сыпучих тел (уголь, руда, песок) в ящики или бункера. На верхней части баков, чанов и бункеров устанавливают еще одно фотореле, которое при наполнении доверха выключает моторы или конвейеры.

Сигнализатор превращается в автоматический регулятор уровня. Другие способы регулирования уровня жидкостей, например, посредством поплавков, считаются уже устаревшими.

Во многих производствах имеет большое значение сигнализация уровня чистой жидкости в отстойных чанах. Когда жидкость отстаивается, на дне чана выпадает осадок, а чем выше, тем жидкость становится прозрачнее. Фотореле, установленное на нужном уровне, дает сигнал, если жидкость в том месте, где проходит луч света, стала прозрачной.

Установки с фотореле для автоматического контроля уровня дают большую экономию. Одна такая установка была применена на одном из подмосковных заводов для автоматической сигнализации падения уровня вещества в специальных машинах-смесителях. В закрытой кабине находится машина для смешивания двух сыпучих веществ. Машина эта называется дезинтегратором. Тучи пыли и страшный грохот дезинтегратора при его работе заставляют обслуживающих машину рабочих выходить из кабины и плотно закрывать за собой дверь. После загрузки в бункер дезинтегратора смешиваемых веществ машина работает самостоятельно. Хотя в двери кабины прорезано отверстие и в него вставлено стекло, нет никакой возможности разглядеть, что делается в кабине. Смотровое окошко покрывается слоем пыли, и через него ничего не видно. Машину же обязательно надо остановить, если уровень загруженного вещества в ее бункере упал ниже нормы. Иначе дезинтегратор будет работать вхолостую, а это недопустимо.

Установленное фотореле минимальных размеров дает звуковую сигнализацию при падении уровня вещества ниже нормы. Фотореле работает в очень тяжелых условиях (пыль, тряска и удары), но, несмотря на это, полтора года не было ни одного случая его порчи.

Другое фотореле для контроля уровня, устанавливаемое на мельничном комбинате, позволяет избежать опасности пожаров. В шахту зерносушилки непрерывно поступает зерно, про-

дуваемое горячим воздухом от вентилятора. Если механизмы, подающие зерно, неисправны, то при опорожнении шахты ниже определенного уровня луч света осветителя перестанет перекрываться зерном и фотореле срабатывает. Звуковая сигнализация привлекает внимание работницы, обслуживающей шахту. Работница должна немедленно выключить вентилятор, иначе может возникнуть пожар. Если она этого не сделает, то через 10 минут фотореле само автоматически выключит вентилятор, без участия работницы.

Такое автоматическое выключение возможно потому, что параллельно цепи электрического звонка присоединено особое устройство — 10-минутное реле времени.

5. АВТОМАТИЧЕСКИЙ СИГНАЛИЗАТОР ВЛАЖНОСТИ

На многих заводах и фабриках бывает очень важно знать, сколько водяных паров содержится в воздухе. Для этого устанавливаются приборы — гигрометры, измеряющие влажность воздуха.

В гигрометре натянут длинный волос, который при изменении влажности воздуха стремится либо укротиться, либо удлиниться. Волосок связан с подвижной системой, на оси которой укреплена стрелка. В зависимости от влажности воздуха эта стрелка перемещается по шкале влево или вправо. На шкале нанесены деления, по которым можно отсчитать влажность воздуха. Достаточно подышать на волосок гигрометра, чтобы стрелка этого прибора переместилась по шкале на угол в 10—15°.

Как же заставить гигрометр автоматически сигнализировать об изменении влажности? Ведь не стоять же все время около прибора, наблюдая за перемещением стрелки. Пусть сам прибор дает сигнал, когда влажность воздуха увеличится или уменьшится по сравнению с нормальной.

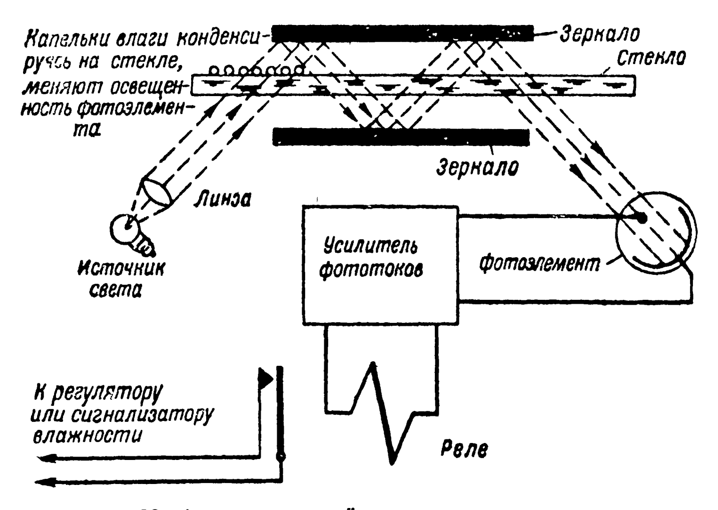
Если прикрепить к стрелке гигрометра маленькое зеркальце, размерами в несколько квадратных миллиметров, и направить на него луч света от осветителя так, чтобы, отражаясь от зеркальца, он попадал в фотореле, то получится автоматический сигнализатор влажности.

При повороте стрелки гигрометра на некоторый угол, отраженный от зеркальца, свет перестанет попадать на фотоэлемент. Фотореле срабатывает и включает сигнализационную лампочку или электрический звонок, привлекающие внимание обслуживающего персонала. Если влажность воздуха, например, повысится, вспыхнет красная сигнальная лампочка и зазвонить звонок. Фотореле может включить не сигнальные

цепи, а небольшой электродвигатель, который через червячную передачу поворачивает вентиль, регулирующий влажность воздуха в помещении. Получится уже не сигнализатор, а автоматический регулятор влажности.

Автоматическое регулирование влажности особенно важно в цехах и мастерских, где сушат различные вещества и готовую продукцию

Там, где производственный процесс требует поддержания определенного режима влажности, можно применять и другие приборы, основанные на использовании фотоэлектронного



Фиг. 33. Автоматический сигнализатор влажности.

эффекта. Схема одного из таких приборов показана на фиг. 33.

Между двумя небольшими зеркальцами помещается стеклянная пластинка. Лучи света от электрической лампочки многократно отражаются зеркалами и попадают на фотоэлемент, связанный с электронным усилителем.

Чем больше влажность помещения, в котором установлен этот прибор, тем хуже пропускает стекло световые лучи вследствие оседающей на нем массы микроскопических водяных капелек. Электронный усилитель можно отрегулировать так, что при определенной предельной влажности сработает электромагнитное реле, включающее своими контактами сигнализацию или приспособление, регулирующее влажность.

Автоматизация производства в химической промышлен-

ности позволит сократить потери и порчу сырья на заводах, уменьшит потери тепла, продлит срок службы оборудования, а главное, освободит людей от труда в условиях, приносящих здоровью вред.

Рабочим на химических производствах иногда приходится работать в опасном соседстве с различными ядовитыми веществами. Но им приходит на помощь фотоэлектронная автоматика. Вместо того, чтобы рабочему дышать вредными газами, он будет находиться в светлой просторной кабине и управлять на расстоянии автоматическими машинами. На пультах управления, на световых сигнальных указателях он будет видеть, как работают машины-автоматы, и, когда это потребуется, вмешаться в их работу, нажимая нужные кнопки или поворачивая рычажки. Да и это редко придется делать: машины-автоматы будут сами себя регулировать.

Труд рабочего, управляющего такими машинами, рожденными Сталинской пятилеткой, становится особенно интересным. Это почетный труд человека Сталинской эпохи, который создает высокую технику и управляет ею.

6. АВТОМАТИЧЕСКИЙ ЛАБОРАНТ

Химикам часто приходится определять количество кислот и щелочей в различных водных растворах. Для этого в исследуемый раствор приливают по каплям лакмусовую настойку. При вливании в исследуемую жидкость лакмусовой настойки раствор меняет свой цвет. Если жидкость окрашивается в красный цвет, это значит, что она содержит кислоту. Окрашивание исследуемой жидкости в синий цвет указывает на наличие в ней щелочи.

Допустим, что жидкость окрасилась в синий цвет. Тогда химик начинает по каплям приливать к ней кислоту, которая, соединяясь со щелочью, нейтрализует ее. Получается соль и вода. Когда вся щелочь будет нейтрализована, жидкость в стаканчике станет бесцветной. При приливании к полученной жидкости хотя бы одной капли щелочи жидкость немедленно окрашивается в синий цвет, а при добавке кислоты — в красный. Зная количество прилитой кислоты, можно определить, сколько щелочи было в исследуемом растворе. Такой способ определения кислотности или щелочности называется титрованием. Как вы видите, титрование — довольно кропотливое дело и отнимает у химика очень много времени. Можно передать эту работу автомату.

В химический стакан наливают щелочь, окрашенную лакмусовой настойкой в синий цвет. По одну сторону стаканчика

устанавливают фотоэлемент, а по другую — осветитель. В анодную цепь усилительной лампы включают электромагнит, якорь которого при срабатывании зажмет резиновую трубку, по которой каплями приливается кислота. Пустив аппарат в ход, химик может заняться любым другим делом. Фотоэлектронный автомат прекрасно справится с работой и доведет анализ до конца. Как только жидкость обесцветится, автомат прекратит приток кислоты и включит звуковую и световую сигнализацию. Один человек получает возможность одновременно следить за работой многих фотоэлектронных анализаторов и значительно повышает производительность своего труда и точность анализов.

7. АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Вообразите себе какое-нибудь помещение, где нужно поддерживать постоянную температуру. Это можно сделать посредством вентиля парового отопления. Рабочий наблюдает за показанием термометра и как только увидит, что температура изменилась, поворачивает вентиль: увеличил пуск пара — температура поднялась до нормы; уменьшил — снизилась.

То же самое необходимо бывает при сушке некоторых веществ, например, в химическом производстве, где важно создать правильный температурный режим, т. е. в тех случаях, когда ни перегревать, ни недогревать нельзя.

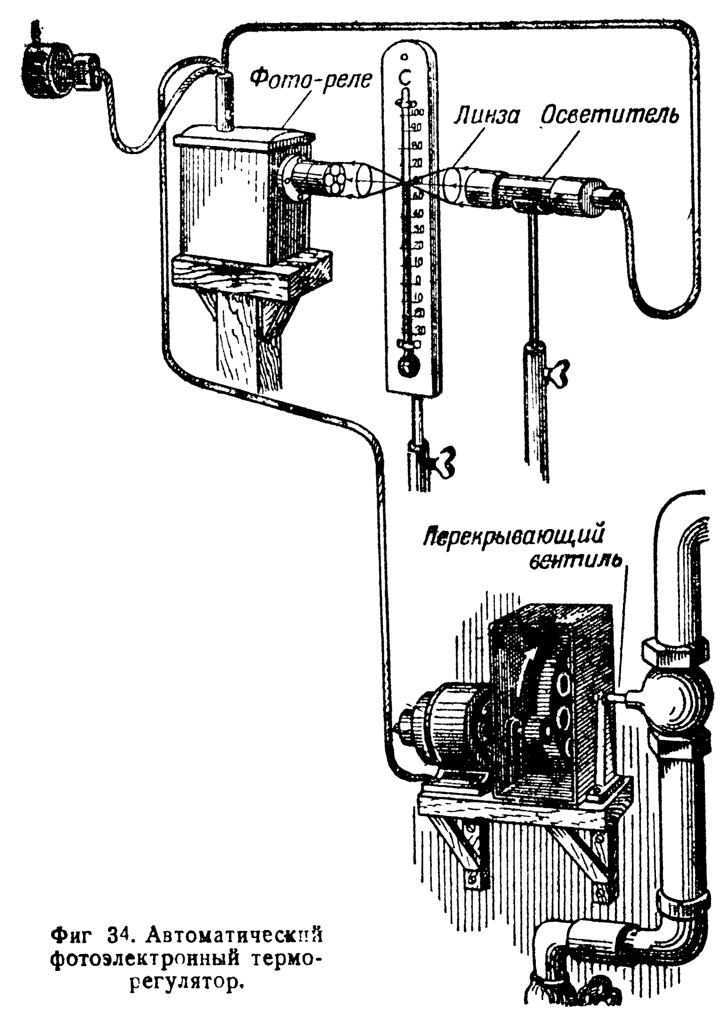
Избавить рабочего от однообразной работы по регулированию температуры можно только путем автоматизации.

Автоматизация осуществляется различными способами. Можно, например, впаять в ртутный термометр контакты. Как только температура в помещении повысится, ртуть поднимется, замкнет контакты и сработает реле. Реле включит мотор, который повернет вентиль и уменьшит впуск пара.

Предположим, что нам нужно соблюдать не один тепловой режим, а несколько. Одно вещество, скажем, сушится при одной температуре, другое — при другой. Придется, очевидно, в каждом случае менять контактный термометр. А если тепловых режимов не два, не три, а целый десяток? Нужно в запасе держать много термометров и каждый раз при изменении режима менять их. Дорого и неудобно.

Бывают случаи, когда, нужно регулировать низкие температуры, при которых ртуть попросту замерзнет. Спиртовый термометр тут уже не поможет. Ведь спирт непроводник электричества и контактов замкнуть не в состоянии.

Как же тогда быть? Очень просто. Берут любой (а это очень важно) термометр, будь он ртутный или с окрашенной

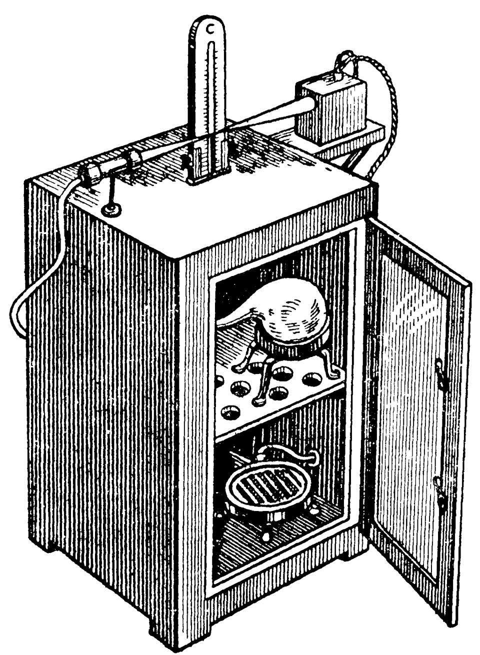


Фиг 34. Автоматический фотоэлектронный терморегулятор.

жидкостью. Справа ставят источник света с линзой (фиг. 34), а слева — фотореле. Как только при повышении температуры жидкость в термометре поднимется на определенную высоту, луч света пересечется. Фотореле сработает и включит мотор вентиля. Чтобы изменить температурный режим, достаточно передвинуть термометр вверх или вниз и закрепить его в новом положении. Теперь он будет регулировать уже другую температуру. Не нужно держать в запасе десятки термометров: можно обойтись одним.

Для регулирования температуры существуют и более сложные приборы. Целые отрасли промышленности пользуются этими сложными приборами. Здесь рассказано только о самом простом регуляторе с ртутным термометром.

Для разных опытов, при которых необходимо поддерживать постоянную температуру в каком-нибудь ящике, ртутный терморегулятор с фотореле подойдет как нельзя лучше.



Фиг. 35 Самодельный термостат с фотоэлектронным автоматическим регулятором.

Такие ящики, внутри которых поддерживается постоянная температура, называются термостатами.

Сделать термостат с автоматическим регулятором температуры не составит большого труда. Берут любой деревянный ящик (фиг. 35) и изнутри обивают его теплоизолирующим материалом (войлоком и т. д.). Затем, во избежание возгорания, покрывают этот материал листовым асбестом. Асбест не только предохраняет от воспламенения, но и сам является прекрасным теплоизолирующим материалом.

В ящике делают железную перегородку с отверстиями, на которую можно будет ставить различные предметы, требующие поддержания постоянной температуры в течение известного времени. Внизу ящика ставят обычную электрическую лампочку или плитку. Горячий воздух от нагретой плитки или лампочки будет подниматься вверх и проходить через отверстия перегородки в верхнее отделение термостата. На крышке укрепляют термометр, конец которого пропускают вниз. С одной стороны термометра устанавливают осветитель с линзой, а с другой — фотореле.

Линзу регулируют так, чтобы ее фокус, т. е. точка, где

собираются световые лучи осветителя, приходился как раз на столбике ртути.

На выходные контакты фотореле включают электроплитку. Фотореле будет замыкать или размыкать цепь питания электроплитки или лампочки в зависимости от температуры внутри ящика. Если нужно поддержать постоянную температуру на уровне 60° (градусов), скажем в кастрюле с супом или с другой пищей, установленной в термостате, то устанавливают термометр так, чтобы фокус линзы приходился против деления 60° на шкале термометра. Когда температура внутри ящика упадет ниже 60°, столбик ртути переместится вниз, и луч света попадет на фотоэлемент. Фотореле сработает и включит плитку. Температура внутри термостата через некоторое время повысится, и столбик ртути переместится вверх. Когда он снова перекроет луч света, фотореле выключит плитку. Колебания столбика ртути будут происходить по мере остывания термостата с некоторой частотой, зависящей от термоизоляции ящика.

Такие термостаты можно применять в лабораториях, где необходимо соблюдать строгий тепловой режим при сушке различных препаратов, в школе для проведения различных опытов и дома (с лампочкой) для варки и подогревания пищи.

По этому же принципу делают и инкубаторы для выведения цыплят. Для домашних инкубаторов можно в качестве нагревательного прибора применять лампочку в 10—15 *вт*, которая при хорошей изоляции ящика даст достаточно тепла, чтобы поддерживать температуру в 30—35°.

8. ФОТОЭЛЕКТРОННЫЙ ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ РЕГУЛЯТОР

Если к стрелке любого измерительного прибора — манометра, амперметра, вольтметра, барометра и т. п.— прикрепить миниатюрное (3 $\times$ 5 *мм*) зеркальце, то в комбинации с фотореле и осветителем получится очень чувствительный механизм.

При отклонении стрелки прибора на определенный угол, например, до красной черты на шкале манометра, отраженный от зеркальца луч света попадает на фотоэлемент. Фотореле, сработав, включит (или выключит) исполнительные механизмы. Этот аппарат настолько чувствителен, что при повороте стрелки прибора на один градус деления шкалы фотореле может сработать.

Существуют гальванометры, стрелка которых поворачивается на один градус деления шкалы от ничтожнейших

электрических токов. Ничтожный ток, протекающий через гальванометр, может включать фотореле, которые воздействуют на механизмы очень большой мощности.

На фиг. 36 изображена принципиальная электрическая схема такого чувствительного регулятора. Термометр сопротивления *1* включен в одно из плеч электрического мостика. Это — чувствительный элемент, датчик регулируемого параметра. Термометр сопротивления состоит в основном из небольшого кусочка медной (или из другого материала) проволоки, заключенной в металлическую трубку, предохраняющую его от механических повреждений.

При изменении температуры электрическое сопротивление проволоки меняется на бо́льшую или на меньшую величину. В связи с этим нарушается равновесие электрического мостика, состоящего, как известно, из четырех плеч, сопротивления которых подобраны таким образом, что нормально в диагонали моста ток должен быть равен нулю. К диагонали мостика присоединен чувствительный гальванометр *2* магнитоэлектрического типа. На оси рамки гальванометра укреплено миниатюрное зеркальце, отражающее свет от лампочки *3* с рефлектором. Световой луч падает то на один, то на другой фотоэлемент, в зависимости от угла поворота рамки гальванометра. В среднем своем положении луч света не попадает ни на один из фотоэлементов и вся система регулятора находится в состоянии равновесия.

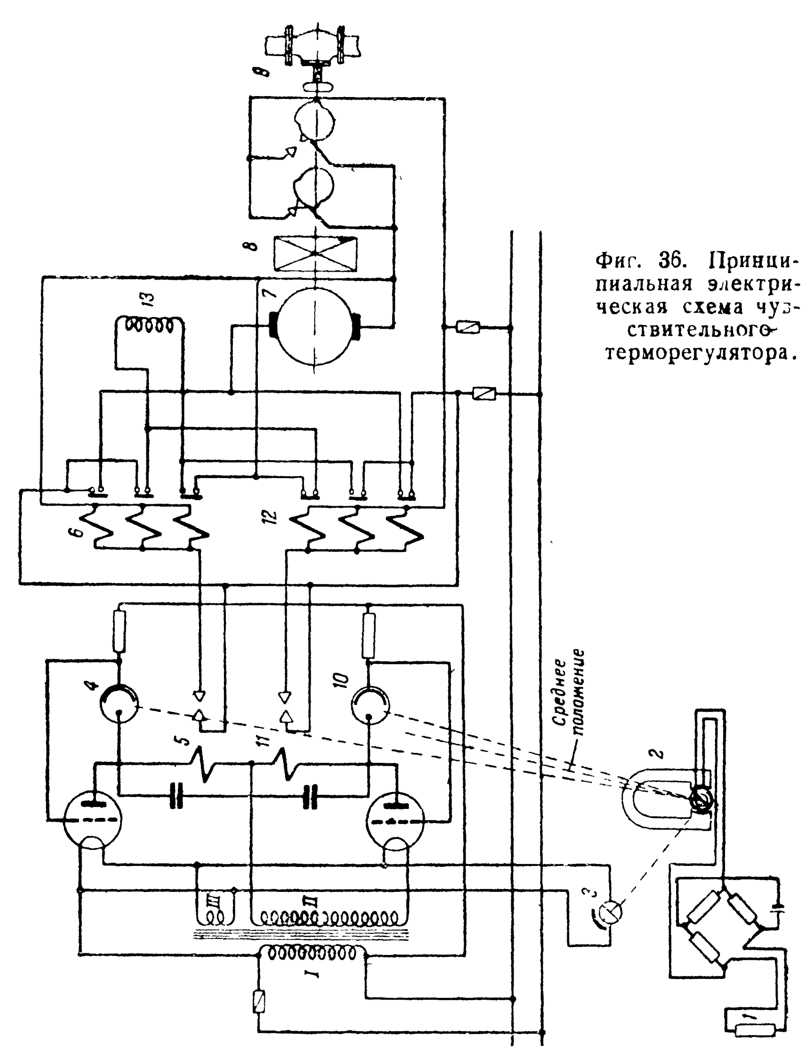
Но вот температура в помещении (или в каком-либо агрегате) понизилась. Тотчас нарушается равновесие мостика и рамка гальванометра поворачивается на незначительный угол от своего среднего положения.

Допустим, что температура понизилась по сравнению с нормальной. Рамка повернулась влево и отраженный от зеркальца луч света упал на фотоэлемент *4*. Тотчас сработало реле *5*, которое замкнуло свои контакты и тем самым включило группу из трех параллельно соединенных одноконтактных промежуточных реле *6*. Как легко видеть из схемы, это реле и пустило в ход небольшой однофазный коллекторный электродвигатель *7*, воздействующий через редуктор *8* на вентиль паропровода *9*.

Такие электродвигатели небольшой мощности в автоматике носят название серводвигателей.

На оси редуктора сидят диски следящей системы, ограничивающие угол поворота вентиля допустимыми пределами.

Но вот в результате открытия вентиля на больший угол температура опять поднялась. Снова наступило равновесие



Фиг. 36. Принципиальная электрическая схема чувствительного терморегулятора.

мостика, и рамка гальванометра встала в нейтральное положение. Луч света, отраженный от зеркальца, сошел с фотоэлемента *4*.

В случае повышения температуры против нормальной срабатывает фотоэлемент *10* и соответственно этому реле *11* и *12*. Меняется направление тока в обмотке возбуждения *13* серводвигателя, и последний начинает вращаться в обратную сто-

рону (реверсируется). Вентиль паропровода при этом прикрывается. Таково в грубо схематическом виде устройство чувствительного фотоэлектронного регулятора с фотоэлементами, контролирующими крайние (предельные) значения температуры. Разумеется, вместо температуры можно регулировать другие параметры: влажность, давление, силу тока, напряжение, скорость и т. д.

9. АВТОМАТИЧЕСКИЙ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬ ОТ ТРАВМАТИЗМА

На производстве иногда бывают несчастные случаи с рабочими, по недосмотру попадающими в машину рукавом или полой спецодежды. Вращающиеся шестерни или другие движущиеся механизмы быстро затягивают одежду, а вместе с нею и ее хозяина. Жертва неосторожности иногда отделывается испугом, но может быть и жестоко искалечена.

Для предохранения от таких несчастных случаев вращающиеся шестерни и другие части машин закрывают, где это возможно, кожухами или ставят предохранительные решетки и сетки. Но эти устройства не всегда помогают. На помощь приходит фотореле, которое предостерегает зазевавшегося рабочего от грозящей ему опасности, привлекая его внимание резкими звонками и световыми вспышками сигнальных лампочек.

Лучи света, направленные от осветителя на фотореле и ограждающие опасные зоны машин, делают труд более безопасным.

Фотореле защищает рабочего от несчастных случаев не только при работе на станках, но и на других механизмах: на прессах, штампах, ножницах, вальцах.

Если опасную зону (фиг. 37) перегородить лучом света, то пресс (или ножницы) нельзя будет включить до тех пор, пока не убраны руки.

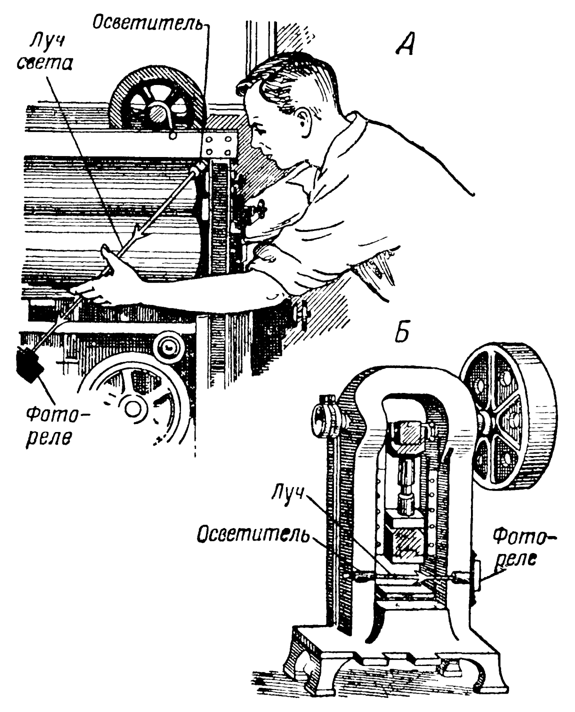
Фотореле автоматически выключает мотор или действует на отводку пресса, застопоривая электромагнитом пусковую рукоятку или педаль.

10. АВТОМАТИЧЕСКИЙ ЭКСКУРСОВОД

На различных выставках, в клубах, в музеях, в учебных заведениях и т. д. можно установить интересный прибор, который автоматически будет рассказывать посетителям устройство и действие экспонатов.

Перед выставочным стендом или перед витриной укрепляется осветитель и фотореле так, чтобы луч света (лучше

невидимый — это будет интереснее) перегораживал путь к витрине (фиг. 38). Выходные контакты фотореле соединяются с электропатефоном. На пластинке патефона заранее записана речь экскурсовода. Как только посетитель подойдет близко к стенду, пересекается луч света, фотореле срабатывает и авто-



Фиг. 37. Фотоэлектронная защита от несчастных случаев на производстве.

А — вальцы, оборудованные фотореле; *Б* — штамповочный пресс с фотоэлектронной установкой.

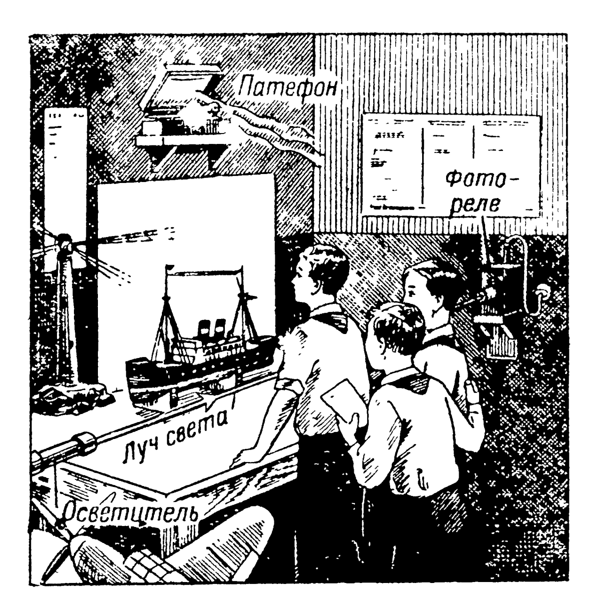
матически включает электропатефон, который ровным спокойным голосом объясняет устройство и действие экспоната. Если удалиться от экспоната,— электропатефон автоматически выключается и фотореле ждет нового посетителя.

Для осмотра выставки без провожатого такой автоматический «экскурсовод» — незаменимая вещь.

Кроме патефона, могут включаться также различные световые надписи, поясняющие назначение и действие выставленных экспонатов. Такие установки применимы также для

автоматического включения рекламного освещения внутри магазинов, когда к ним приближается покупатель.

Посредством подобных же устройств можно включать освещение на мало используемых шоссе перед проезжающими автомашинами. Когда машина проедет освещенный участок шоссе, фонари на нем выключаются и срабатывает следующее



Фиг. 38. Автоматический „экскурсовод".

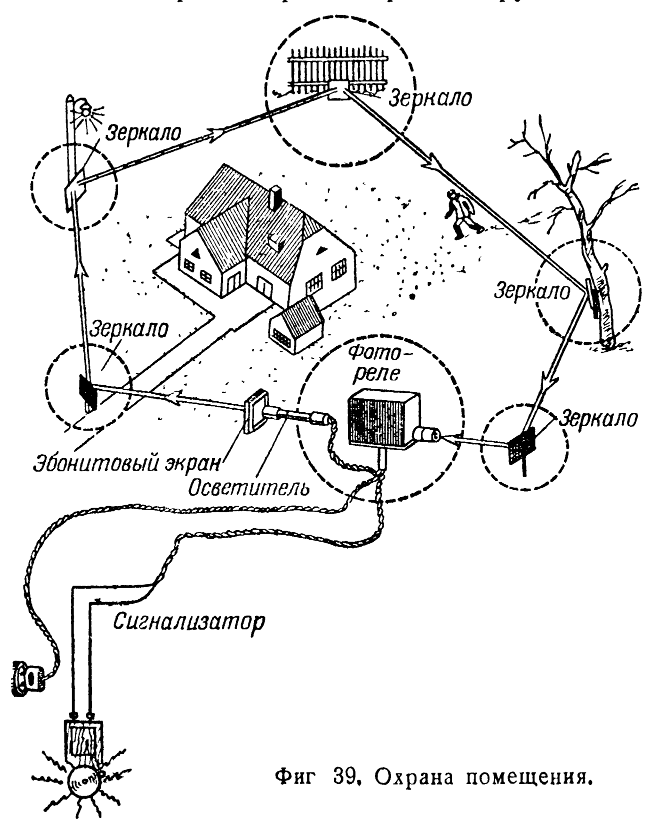
фотореле, которое зажигает фонари на соседнем участке. Это устройство, не позволяя фонарям гореть впустую, экономит много электрической энергии.

11. НЕВИДИМАЯ ОХРАНА

Фотореле может прекрасно охранять помещения. Невидимым инфракрасным лучом можно незаметно перегородить любую дверь и быть вполне уверенным, что никто туда не проникнет, не вызвав сигнала тревоги.

Как только луч света будет кем-либо пересечен, сразу же срабатывает фотореле и включает сигнализацию для привлечения внимания охраны (электрические звонки, сирену, мигающие лампочки). Фотоэлектрический сторож не заснет. Он неусыпно и надежно действует.

Вокруг объекта, который нужно охранять, протягивают невидимый глазом барьер из инфракрасных лучей (фиг. 39). Для этого, замаскировав прожектор или другой достаточно



Фиг 39. Охрана помещения.

мощный источник света, в стене здания, в сторожевой будке, на дереве и вообще там, где это удобно, судя по обстановке, закрывают его отверстие черным стеклом (марблитом), не пропускающим видимых лучей света. Вместо черного стекла в отдельных случаях применяют фильтры из тонкого эбонита.

Для видимых лучей света «черное стекло» или эбонит совершенно непрозрачны, и с первого взгляда никто не догадается, что какой-нибудь важный объект огражден невидимым лучом. Эти лучи идут от прожектора вдоль стены охраняемого помещения, падают на отполированный кусок жести или небольшое зеркальце и, отражаясь от него под углом, поворачивают вслед за изгибом здания.

Невидимые лучи могут многократно отражаться от зеркал, укрепленных в самых неожиданных местах: на изгороди, на пеньке срубленного дерева, на столбике, на стене соседнего здания и т. д. Они огибают здание, следуя за всеми его изгибами, и попадают в фотоэлемент, который так же, как и прожектор, тщательно замаскирован.

В некоторых случаях вместо одного луча света можно устанавливать два или три, расположенных, например, в шахматном порядке.

При нескольких лучах, «протянутых» вдоль охраняемой зоны, надежность действия будет еще больше. Правда, тут необходимо придумывать различные ухищрения, которые позволили бы автомату «отличать» пересекающий луч человека от перебегающего зайца, лисицы или другого зверя.

Ложные срабатывания могут вызвать также и пролетающие птицы, пересекающие своими крыльями и корпусом невидимый барьер.

12. УПРАВЛЕНИЕ НА РАССТОЯНИИ

Можно сделать прибор, позволяющий управлять на расстоянии различными механизмами посредством световых сигналов. Основную часть этой установки составляют два фотореле (фиг. 40). Одно фотореле соединено с так называемым селектором, другое — с выключателем.

Селектор устроен точно так же, как электромагнитный счетчик для подсчета изделий массового производства (см. стр. 57), с той лишь разницей, что на его оси жестко насажена небольшая металлическая полоска (щеточка), перескакивающая с контакта на контакт при каждом повороте храпового колеса на один зубец. Счетный механизм (будильник) при этом не нужен.

Контакты, по которым ходит пружинящая щеточка, укрепляются на изолирующей дощечке по кругу, радиус которого приблизительно равен длине щеточки. К этим контактам присоединяются провода от различных исполнительных механизмов.

Один из контактов селектора будет нулевым. К нему не присоединяется ни один механизм.

Когда щеточка стоит на этом контакте, все механизмы бездействуют.

Соседний контакт соединяется с электромотором, открывающим и закрывающим окна в комнате, другой включает, например, комнатный вентилятор, третий открывает двери,

четвертый заставляет работать электрический звонок, пятый замыкает цепь сигнализационной лампочки и т. д.

Осветим фотореле, соединенное с селектором, карманным электрическим фонариком.

При первой вспышке селектор передвигает щеточку на соседний контакт и включает в ход электродвигатель, открывающий окна. Еще одна вспышка света, и заработал комнатный вентилятор.

При следующем световом сигнале в комнате сами собой открываются двери, при четвертом — раздается звон колокольчика электрического звонка.

Фиг. 40. Принципиальная электрическая схема управления на расстоянии с помощью световых импульсов.

$Ф_1$ и $Ф_2$ — фотореле; *1, 2, 3, 4, 5* — исполнительные механизмы.

Пятая вспышка света включила электрическую лампочку, а при шестом сигнале щеточка опять встала на нулевой контакт.

Шесть световых сигналов — пять включений различных исполнительных механизмов.

Но что же делало во время этого интересного опыта второе фотореле? Ничего. Оно было не включено в цепь аппарата управления.

Может быть, оно и совсем не нужно в этом аппарате? Мы ведь только сейчас видели, что с переключением различных электрических цепей селектора успешно справляется одно фотореле. Оно последовательно одну за другой включает исполнительные механизмы (электродвигатели окон и дверей,

вентиляторы и т. д.), соединенные с контактами селектора.

Но одно плохо: для того, чтобы включился, скажем, вентилятор, нам нужно дать два сигнала и последовательно включить одну за другой обе цепи. Сначала включается моторчик, открывающий окна, а потом уже вентилятор.

А если не требуется открывать окон, и нужно включить только моторчик вентилятора, то как быть?

В аппарате, управляемом на расстоянии световыми сигналами, для этого и служит второе фотореле. Как бы щеточка селектора ни передвигалась по контактам, в каком бы положении она ни находилась,— механизмы, соединенные с контактами, не работают до тех пор, пока не освещен второй фотоэлемент.

Второе фотореле соединено с электрическим выключателем, разрывающим цепь питания исполнительных механизмов. Получается так, что первое фотореле только подготовляет включение цепи, а второе ее замыкает.

Теперь можно включать по выбору любую электрическую цепь без того, чтобы замыкались предыдущие. Для этого направляют фонарик на фотоэлемент, управляющий селектором. Один нажим кнопки фонарика, другой, третий, четвертый. От четырех импульсов света щеточка селектора перескочила с первого на пятый контакт.

Цепь включения исполнительного механизма — звонка — подготовлена. Теперь направляют луч света на второй фотоэлемент, соединенный с электромагнитом, включающим ток от батареи аккумуляторов, и звонок немедленно приходит в действие. Точно таким же способом можно включить любую другую исполнительную цепь.

Стоит только луч света отвести в сторону от фотоэлемента, управляющего выключателем, как сразу же звонок перестает звонить. Цепь питания разорвалась, аккумуляторы отсоединились.

На каком же расстоянии можно управлять этим интересным аппаратом? Дальность действия фотоэлектронного автомата зависит от мощности пучка света.

В описанном выше опыте источником света была лампочка от карманного фонарика. Она дает сравнительно небольшой и рассеянный световой поток. Рефлектор карманного фонарика разбрасывает свет под большим углом.

Пять-шесть шагов, а при хорошем рефлекторе десять пятнадцать,— вот расстояние, на котором можно воздействовать на фотоэлектронный автомат световыми вспышками карманного фонарика.

Специальным осветителем с почти параллельным пучком света фотоэлектронным автоматом можно управлять на еще большем расстоянии. Если, например, вместо фонарика взять автомобильные фары, дальность действия увеличится во много раз. А при управлении светом прожектора это расстояние будет уже несколько километров.

Управлять на расстоянии можно не только видимым светом, но и посредством невидимых инфракрасных лучей. Это будет еще интереснее. Круг деятельности автомата может быть чрезвычайно разнообразен.

Легко догадаться, что фотоэлектронный автомат может, например, пускать в ход электродвигатель, воздействующий на различные механизмы; может включать автоматический вентиль, пускающий пар в турбину, открывать кран баллона со сжатым воздухом и т. д.

13. АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖУЩИМИСЯ МОДЕЛЯМИ

Управлять на расстоянии можно не только неподвижными, но и движущимися механизмами. Можно сделать, например, движущуюся модель автомобиля.

На тубус фотореле направляют луч света от карманного фонарика. Фотореле сработает и своими контактами включит избиратель сигналов телеуправления — селектор.

При каждой вспышке света селектор будет передвигать свою щетку на соседний контакт, соединенный с исполнительными механизмами (реле пуска в ход и остановки, рули поворота вправо и влево и т. д.).

Опыты с управляемыми моделями «видящих автомобилей» очень интересны. При одном нажиме кнопки карманного фонарика модель, скажем, движется прямо, при двух — влево, при трех — вправо и т. д.

На одной выставке показывали оригинальную собаку. Она была сделана из фанеры и покрыта фетром. Ноги собаки были на роликах, а вместо глаз виднелись два стеклянных шарика. Когда эту собаку освещали, держа в руках электрический фонарик, она начинала двигаться на свет и громко лаять. Если человек с фонарем отходил в сторону, собака немедленно поворачивалась к свету и, продолжая лаять, двигалась прямо на него. И только когда свет выключался, — она успокаивалась.

Как же она была устроена? Почти так же, как «видящий» автомобиль, но только аппаратура управления собакой несколько сложнее.

«Видящий» автомобиль не мог двигаться на свет, а собака поворачивалась вслед за фонарем, как живая. За ее стеклянными глазами были установлены фотоэлементы, отделенные друг от друга непрозрачной носовой перегородкой. Одно фотореле было соединено с цепью питания электродвигателя левой ноги собаки, а другое — правой.

При одновременном освещении обоих глаз собаки фотоэлементы давали ток, и реле, соединенные с ними, срабатывали. Своими контактами реле включали цепь питания обоих электродвигателей, которые приводили в движение ролики на ногах собаки, и она двигалась прямо на свет.

Но вот экспериментатор отошел вправо. Свет фонарика перестал попадать в левый глаз, так как он оказался затененным носом собаки. Но правый глаз был попрежнему освещен. Реле фотоэлемента, помещённого за левым глазом, немедленно выключило электродвигатель левой ноги. Правая же нога продолжала работать, и поэтому собака стала поворачиваться влево. Устройство, подобное этому, делается в гусеничных тракторах: когда выключается левая гусеница, машина перемещается только правой и поэтому заворачивает влево. И наоборот, при выключении правой гусеницы, трактор резко поворачивается вправо. Приблизительно так же была устроена и собачка, только вместо гусениц у ней двигались ролики, вращаемые небольшими электродвигателями.

Этот механизм интереснее «видящего» автомобиля, потому что он сам ориентируется на свет.

14. ФОТОРЕЛЕ И СПОРТ

На спортивных состязаниях фотореле может заменить судью. Оно совершенно точно отсчитывает время старта и финиша.

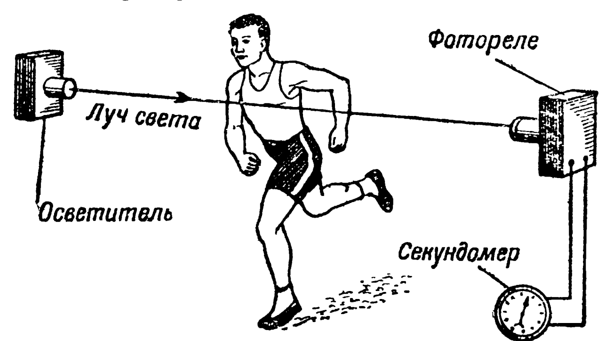
Традиционные лёнты, которые бегун рвет своей грудью, заменяются лучом света (фиг. 41). С одной стороны беговой дорожки устанавливается осветитель, с другой — фотореле. При пересечении луча света срабатывает фотореле, включая электромагнит, нажимающий кнопку секундомера.

Судья может ошибиться и не сразу нажать кнопку секундомера; с фотореле этого никак случиться не может. Фотоэлектрический судья совершенно беспристрастно отмечает время старта и финиша с точностью до сотых долей секунды. Человек же дает точность до пятых долей сéкунды.

Такие приборы можно использовать при соревнованиях автомобилистов и мотоциклистов, а также на скачках и бегах лошадей.

Фотоэлектронные приборы могут не только автоматически засекать время старта и финиша, но и определять скорость бегуна или мотоциклиста.

Для этого на некотором расстоянии друг от друга надо установить два фотореле и два осветителя. Сначала бегун



Фиг. 41. При пересечении луча света автоматически фиксируется время финиша.

или мотоциклист пересекает один луч света, затем второй. Так как фотореле установлены на определенном расстоянии, например, 100 *м*, то по разнице во времени пересечения обоих лучей можно судить о скорости передвижения.

Как известно из законов механики, скоростью называется путь, пройденный в единицу времени. Для того, чтобы получилась скорость движения бегуна (или мотоциклиста), нужно расстояние от одного фотореле до другого, выраженное в метрах, разделить на время, которое прошло от момента пересечения одного луча до пересечения другого. Тогда получится значение скорости в метрах в секунду.

Понятно, что для этого потребуется не только два фотореле с осветителями, но и провода от них к секундомеру, кнопка которого будет нажиматься небольшим электромагнитом, срабатывающим от фотореле при пересечении световых лучей.

Спортивному коллективу, среди которого найдутся любители фотоэлектронной автоматики, построить такой определитель скорости будет очень интересно. Такой отметчик времени с двумя фотореле может определять скорость не только бегуна или мотоциклиста на спортивных состязаниях. Им можно воспользоваться также для точного определения скорости автомобильного транспорта.

При применении таких приборов не будет никаких споров

между милиционерами — регулировщиками уличного движения — и водителями автомашин, нарушившими правила скорости езды. Посредством такого прибора можно определять скорость движения грузовых и легковых автомашин, паровых и электрических поездов, пароходов и других видов транспорта. Чтобы каждый раз не производить подсчетов, на циферблат секундомера можно заранее приклеить кольцо из плотной бумаги, на котором нанести цифры (значения скорости).

Ясно, что при этом расстояние между обоими фотореле должно быть всегда одним и тем же. При изменении же расстояния между обоими фотореле нужно будет по-другому отградуировать измеритель скорости.

15. ФОТОЭЛЕКТРОННЫЙ ТИР

Широкое применение фотоэлектронная автоматика может найти в учебно-боевой подготовке.

Патриоты нашей великой Родины должны учиться меткой стрельбе.

Задача тренировки в стрельбе не только в том, чтобы развить меткость. Одновременно воспитывается способность владеть собой, рассчитывать свои движения, быстро воспринимать внешние впечатления и быстро на них реагировать.

Применение фотореле дает возможность создать тир совершенно нового устройства.

Если тубус фотореле вставить в центр мишени, получится неплохой фотоэлектронный тир. Стрельба по мишени будет, конечно, не пулями, а лучом света.

Кинопроекционная 4-вольтовая лампочка (фиг. 42) с точечной нитью накала, мощностью 4 *вт*, устанавливается в стволе фотоэлектронного ружья.

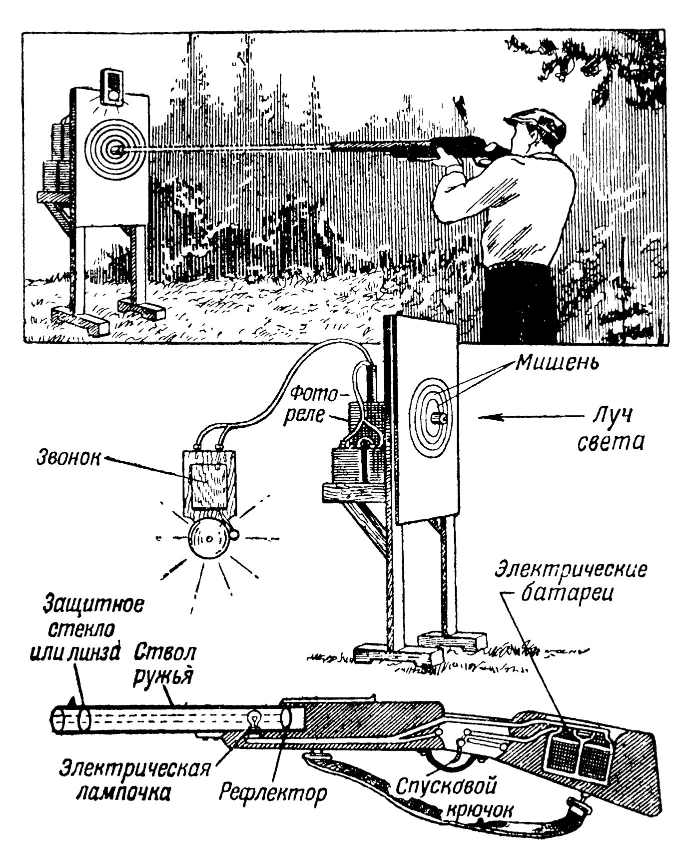
Рефлектор для лампочки берется от осветителя проекционного киноаппарата. Его диаметр порядка 40 *мм*. Если нить лампочки установить точно в фокусе рефлектора, получится почти параллельный пучок света.

В прикладе помещается три-четыре параллельно соединенные сухие батарейки от карманного электрического фонарика. Спусковой крючок служит выключателем. Для предохранения лампочки от пыли в конце ствола укреплено круглое стеклышко.

При точном прицеливании короткий проблеск света попадает на фотоэлемент и фотореле, срабатывая, включает укрепленные на стойке мишени звонок, цветную сигнальную лампочку или какой-нибудь забавный пружинный автомат.

Точность прицеливания может быть очень большой. Чем длиннее тубус фотореле, чем труднее попасть в центр мишени.

Фотоэлектронный тир может пригодиться для начального обучения и тренировки в пионерских лагерях, клубах, парках,



Фиг. 42. Фотоэлектронный тир.

а также в стрелковых школах. Такой тир можно устраивать в любом помещении. Для тренировки в нем не надо патронов, он совершенно безопасен и не требует больших расходов на строительство.

Дальность действия (дистанция стрельбы) зависит от чувствительности фотореле и мощности осветителя.

Для подражания звуку выстрела к спусковому крючку прикрепляется приспособление, состоящее из обломка пате-

фонной пружины и дощечки. Кусочек пружины должен при «выстреле» соскакивать и ударять по дощечке, создавая резкий сухой стук, напоминающий звук выстрела.

16. АВТОМАТИЧЕСКИЙ ЭКСПОНОМЕТР

Фотографы представляют, как трудно определить время выдержки (экспозицию). Многие таблицы, по которым надо производить сложные вычисления в зависимости от освещенности фотографируемого предмета, приводят к ошибкам даже опытных фотографов, у которых часто получается либо недодержка, либо передержка.

Фотоэлектронный прибор и тут может помочь делу.

Не надо смотреть по таблицам, какая освещенность, допустим, в мае в Москве при перистых облаках, а потом производить целый ряд вычислений. Посмотрели на стрелку прибора — и готово: можете снимать.

Но возникает мысль, а нельзя ли автоматически воздействовать на затвор фотоаппарата так, чтобы не надо было вообще не только высчитывать время выдержки по таблицам, но и смотреть на прибор? Оказывается, и это сделать нетрудно.

Уже известно, что чем интенсивнее световой поток, тем больше получается фототок. Если в цепь фотоэлемента включить конденсатор, то последний будет заряжаться. Параллельно конденсатору подключают электромагнит, якорь которого связан с затвором фотоаппарата. Когда якорь притягивается к электромагниту, затвор «щелкает» (фиг. 43).

Когда же якорь электромагнита будет притягиваться? Ведь если параллельно конденсатору включить только электромагнит, без всяких других приспособлений, то конденсатор не сможет зарядиться. Надо как-то разорвать цепь питания электромагнита и включить его только тогда, когда конденсатор окончательно зарядится.

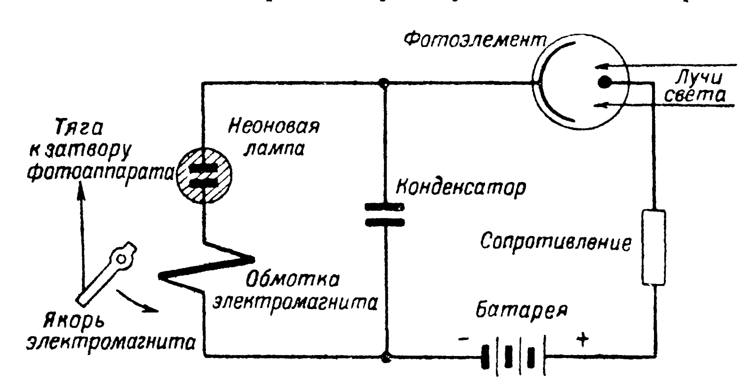
Как же это сделать? Как уловить момент полного заряда конденсатора? На помощь приходит неоновая лампа.

Это очень интересная лампочка. Она отличается замечательной особенностью зажигаться только при определенном напряжении на ее электродах. Если напряжение хотя бы на полвольта ниже того, на которое рассчитана неоновая лампочка, она не зажжется.

Устройство неоновой лампы очень простое. Это стеклянный баллон, такой же, как у обыкновенной электрической лампочки, а внутри два металлических электрода. Баллончик лампы наполнен инертным газом — неоном. При определенном

потенциале на ее зажимах, который называется потенциалом зажигания, лампочка вспыхивает и замыкает цепь электромагнита, управляющего автоматическим затвором фотоаппарата.

Как же фотографировать с помощью такого автомата? Рядом с объективом фотоаппарата устанавливается фотоэле-



Фиг. 43. Принципиальная схема фотоэлектронного экспонометра.

мент, направленный на предмет съемки. Свет, отраженный от этого предмета, освобождает из катода фотоэлемента электроны, которые заряжают конденсатор. Когда конденсатор зарядится до потенциала зажигания неоновой лампы, последняя вспыхивает и замыкает цепь питания электромагнита. Затвор фотоаппарата закрывается,— съемка окончена.

Если освещенность сильная, выдержка нужна небольшая. Так и получается в этом автомате. Заряд в конденсаторе при сильной освещенности накапливается быстро, и неоновая лампа столь же быстро зажигается. При слабом освещении (большая выдержка) конденсатор заряжается очень медленно. Разумеется, что для пластинок разной чувствительности надо брать разные конденсаторы.

Подобные аппараты очень полезны для киносъемок. Они меняют величину отверстия диафрагмы перед объективом, и кинопленка всегда получает равномерную освещенность. Чем больше освещенность сцены, тем меньше делается отверстие диафрагмы. Ведь когда в глаза попадает яркий свет, зрачки сами сужаются. Так и в автомате для киносъемок: диафрагма кинокамеры немного закрывается при сильной освещенности сцены и открывается при слабой. Все это делается автоматически посредством фотоэлемента.

17. ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ТЕЛЕГРАФНО-ТЕЛЕФОННАЯ ЛИНИЯ СВЯЗИ

В древности, когда ни телеграфа, ни телефона не было, люди общались между собой более простыми способами.

Одним из таких простых способов была передача световых сигналов либо от костра, либо от зеркала. Передача на расстояние сигналов с помощью отраженного от зеркала светового «зайчика» применяется еще и по настоящее время в приборах — гелиографах.

Простейший тип оптического телеграфа состоит из одного небольшого прожектора с лампочкой накаливания. Электрическая лампочка с ярко светящейся нитью помещается в фокусе сферического или параболического рефлектора, устроенного вроде автомобильных фар.

Нить лампочки предпочитают брать «точечную», маленькую, в виде яркосветящейся точки. Точечные лампочки дают более правильное отражение света от рефлектора, и пучок световых лучей получается почти параллельным и во всяком случае расходится мало.

Посылка световых сигналов осуществляется нажатием ключа, устроенного наподобие обычного телеграфного ключа. Ключ оптического телеграфа при нажатии на него включает нить накала лампочки, которая посылает пучок света в определенном направлении. Питается она всего лишь от нескольких сухих элементов.

Одно короткое замыкание — ключ дает точку, длинное — тире. Из комбинации точек и тире составляются слова и целые фразы. Получается, как в телеграфном аппарате при передаче сигналов на-слух. Только приемным аппаратом служат не уши человека, воспринимающего сигналы, а его глаза.

Короткие и длинные вспышки света в хорошую погоду видны на большое расстояние (до 10 и более километров). Телеграфисту, знающему азбуку Морзе, не составит большого труда от приема на-слух, телефонными трубками, перейти к приему на-глаз. Этот телеграф имеет большие преимущества перед обычным проволочным. Связь осуществляется без проводов и без какой-либо сложной аппаратуры. Передатчик легкий, компактный, простой и дешевый. Особенно он удобен при работе в условиях горной местности, где, как известно, прокладка проводов сопряжена с большими трудностями.

Однако немало у оптического телеграфа и недостатков.

Во-первых, он работает только в условиях хорошей погоды,— в тумане ничего не видно.

Во-вторых, днем человеческий глаз также не вполне пригоден в качестве приемника. Если ночью видно хорошо, то днем разглядеть сигналы и отличить их от других источников света чрезвычайно трудно, а иногда и совсем невозможно.

Поэтому, несмотря на свои преимущества (компактность, легкость, отсутствие проводов), оптический телеграф уступал место проволочному и радиотелеграфу, которые успешно с ним конкурировали. Но когда появились фотоэлементы, оптический телеграф превратился в мощное средство связи. Фотоэлементы улавливают невидимые глазом инфракрасные лучи, которые прекрасно проходят через туман. Поэтому оказалось возможным телеграфировать также и в туман и в непогоду.

На море, в полевых условиях, в гористой местности оптический телеграф с фотоэлементами в качестве приемника может оказать большие услуги туристам, геологам и т. д.

Невидимый луч оптического телеграфа увидеть нельзя, зато его можно услышать. Вместе с фотоэлементами в действие опять вступают уши человека.

Луч на передатчике изменяется (модулируется) с определенной звуковой частотой. Особым механизмом его прерывают несколько тысяч раз в секунду и посылают в нужном направлении.

Представьте себе такой шнурок, состоящий из невидимых лучей и направленный на фотоэлемент приемника. Этот световой шнур тысячи раз в одну секунду появляется, исчезает и снова возникает.

Фотоэлемент приемного устройства успевает улавливать изменения пучка невидимого света, тут же усиливать их радиолампами и передавать в телефонную трубку. В телефоне на приемном конце все время будут слышать определенный тон звуковой частоты.

Ухо человека воспринимает от 16 до нескольких десятков тысяч звуковых колебаний в секунду. Поэтому луч, прерываемый даже с такой огромной частотой, как несколько тысяч раз в секунду, будет в телефон отлично слышен. И чем чаще прерывается луч, тем выше тон.

При изменении частоты прерываний луча на передатчике, звук на приемном устройстве изменяется в соответствии с частотой прерываний. При этом короткое нажатие ключа соответствует точке, а длинное — тире.

Применение прерывающегося с определенной частотой луча света имеет большое преимущество.

Приемное устройство, усиливающее токи фотоэлемента и превращение их в звуки, устроено так, что постоянный мешающий свет (например, дневной) на него совершенно не влияет.

Как бы ни был ярок дневной свет, усилительная аппаратура приемника оптического телеграфа его не чувствует. Она пропускает только звуковые частоты. Поэтому оптический телеграф с прерывистым лучом света прекрасно работает как ночью, так и днем.

Каким же устройством прерывают луч света на передатчике? Можно применить, например, диск с прорезами, поставленный перед отверстием прожектора. Тогда луч света будет прерываться с частотой, зависящей от того, сколько прорезов в диске, через которые он проходит, и какое число его оборотов.

Дальнейшее усовершенствование оптического телеграфа привело к созданию телефона, работающего на невидимых инфракрасных лучах.

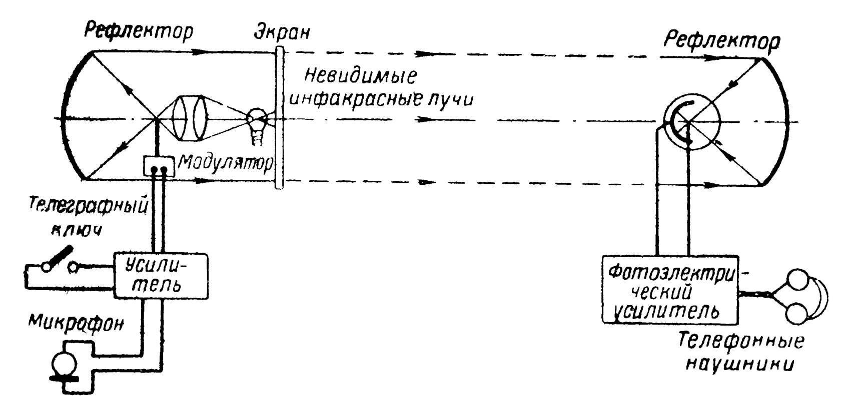
В оптическом телефоне вместо проволоки протянут непрерывно колеблющийся пучок света, направляемый прожектором и не видимый человеческим глазом. Но колеблется свет не потому, что его прерывает какое-то механическое устройство, вроде диска с прорезами, как это сделано в оптическом телеграфе, или телеграфный ключ, а вследствие самого обычного разговора в микрофон. Говоря в микрофон, мы заставляем колебаться мембрану, которая, как и в обычном проводном телефоне, меняет сопротивление угольного порошка. Изменяющееся сопротивление цепи, в которую включен микрофон, в такт звуку человеческого голоса меняет силу тока. Это изменение тотчас же «подхватывается» микрофонным усилителем, увеличиваясь во много тысяч раз. На выходе микрофонного усилителя (фиг. 44) возникают электрические токи большой мощности, которые меняются вместе с изменением микрофонных токов, т. е. в конечном итоге в соответствии со звуками нашего голоса.

Этими усиленными электрическими токами питается электромагнит передающего устройства. Электромагнит воздействует своим магнитным полем на так называемый «оптический нож». Это — железная заслонка, которая колеблется в магнитном поле электромагнита, следуя за изменениями поля. Колебания «оптического ножа» происходят в соответствии со звуками нашего голоса при разговоре в микрофон.

Что же делает эта заслонка, этот «нож» с таким странным названием — «оптический»? Она «режет» пучок света, посылаемый с передающего на приемное устройство оптического

телефона. Поэтому ее и назвали «оптическим ножом». В фокусе линзы, где сходятся лучи света от мощной электрической лампочки передатчика, эта заслонка и находится.

Незначительное движение заслонки вверх, и луч света наполовину уже перекрыт, на отражатель прожектора посту-



Фиг. 44. Схема телефонно-телеграфной связи на инфракрасных лучах.

пает только половина всей световой энергии лампы накаливания. Незначительное перемещение заслонки вниз открывает доступ бо́льшей части луча света из фокуса линзы на отражательную поверхность прожектора.

Получается действительно так, что «оптический нож» «режет» свет. Тут нам помогает замечательное свойство световых лучей сходиться в одной точке — в фокусе линзы. Не будь этого, заслонке пришлось бы совершать очень большие взмахи вверх и вниз для того, чтобы перекрыть мощный пучок света. Как видно из рисунка, фокус системы линз совпадает с фокусом самого прожектора. Световой луч, исходящий от отражателя прожектора, перекрыт фильтром, непропускающим видимой части спектра. Одни лишь невидимые глазом инфракрасные лучи проходят через эту преграду. Так в общем устроено и работает передающее устройство оптического телефона. На приемном конце этой линии связи также стоит рефлектор, который в своем фокусе собирает лучи света, идущие от передатчика, и направляет их на фотоэлемент.

Без рефлектора обойтись нельзя, так как светочувствительная поверхность фотоэлемента слишком мала.

Фототок, меняющийся в такт с прерываниями луча света, усиливается радиолампами. В анодную цепь последней лампы

усилителя включен телефон или репродуктор. Мембрана телефона (репродуктора) колеблется в соответствии с голосом, возбуждающим мембрану микрофона на передающем конце линии связи.

Таким образом, с небольшими, правда, искажениями, обусловленными работой «оптического ножа», передается телефонный разговор не по проводам, и не по радиолинии, а с помощью вибрирующего пучка невидимых лучей. Световой поток, падающий на фотоэлемент, будет тем больше, чем больше диаметры рефлекторов передатчика и приемника и чем меньше размеры светящейся нити лампы при той же силе света.

Поэтому диаметры параболических (или сферических) зеркал передатчика и приемника берут максимально большими (чем больше — тем лучше), а нить лампочки накаливания — маленькую, в виде точки, но достаточно яркую.

Существует довольно много конструкций подобных аппаратов на разную мощность и дальность действия. В большинстве случаев эти аппараты работают на инфракрасных лучах. Это дает возможность держать надежную связь в густом тумане и в непогоду. Дальность действия этих аппаратов при благоприятных атмосферных условиях достигает 25 *км* и более.

Фотоэлектронные передатчики совершенно не мешают друг другу, хотя и работают на «одной волне».

Самым существенным недостатком оптической связи является зависимость дальности действия от состояния атмосферы.

Также вызывает неудобства обязательная необходимость установки передающей и приемной частей аппарата в пределах прямой видимости. Такую связь легко «загородить» даже небольшим непрозрачным предметом. Поэтому в условиях пересеченной местности более удобной может оказаться радиосвязь.

Во всяком случае радиосвязь не исключает оптической, и наоборот. Они обе взаимно дополняют друг друга.

Редактор *А. Е. Стахувский* Технический редактор *Л. М. Фридкин*

Сдано в набор 28/II 1950 г. 6 уч.-изд. л. Подписано к печати 11/VII 1950 г.
Т-04389 Бумага 84×108[1]/32 — 1,5 бумажных — 0,92 п. л. Тираж 25 000 экз. Зак. 71

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10

Цена 3 руб.